

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки – 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение электроэнергетики и электротехники

Профиль – «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы				
<b>АСИНХРОННЫЙ ТЯГОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА</b>				

УДК 62-83-523:622.683

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Копнов Алексей Олегович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Панин В.Ф.	д.т.н., про- фессор		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Отделение электроэнергетики и электротехники	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭЭ ИШЭ	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., Доцент		

Томск – 2018 г.

**Запланированные результаты обучения  
профессиональные и общекультурные компетенции  
по основной образовательной программе подготовки бакалавров  
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»,  
«Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и  
учреждений»**

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные</i>		
<b>Р 1</b>	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электроэнергетических систем и электрических сетей.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 2</b>	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетических систем и сетей, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Требования ФГОС (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIO Syllabus</i> (2.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 3</b>	Уметь проектировать электроэнергетические системы и электрические сети.	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-3, ПК-4, ПК-9), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 4</b>	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов электрических сетей энергосистем, а также энергосистемы в целом, интерпретировать данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-12, ПК-14, ПК-15), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 5</b>	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетических систем и электрических сетей.	Требования ФГОС (ОПК-2, ПК-11, ПК-13, ПК-18), <i>CDIO Syllabus</i> (4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 6</b>	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической отрасли, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ПК-17), <i>CDIO Syllabus</i> (4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Универсальные</i>		
<b>Р 7</b>	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетических систем.	Требования ФГОС (ПК-20, ПК-19, ПК-21), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 8</b>	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в области электрических сетей энергосистем.	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-1, ПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 9</b>	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетических систем и сетей.	Требования ФГОС (ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 10</b>	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-5, ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (2.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 11</b>	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетических систем и сетей с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-8, ОК-9, ПК-3, ПК-4, ПК-10), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 12</b>	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетических систем и сетей.	Требования ФГОС (ОК-7, ОК-8), <i>CDIO Syllabus</i> (2.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики  
Отделение Электроэнергетики и электротехники  
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
Профиль – «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ОЭЭ ИШЭ

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      Дементьев Ю.Н.  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4Б	Копнову Алексею Олеговичу

Тема работы:

АСИНХРОННЫЙ ТЯГОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	02.02 2018г. № 645/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2018
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Спроектировать схему вольтодобавочного устройства для рудничного аккумуляторного электровоза на напряжение 175 В.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение ре-</i>	Расчет и выбор элементов вольтодобавочного устройства Расчет массогабаритных показателей вольтодобавочного устройства

результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	
<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Калмыкова Екатерина Юрьевна
Социальная ответственность	Панин Владимир Филиппович
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Все разделы выпускной квалификационной работы написаны на русском языке.	

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Копнов А.О.		

# «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСО-СБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4Б	Копнову Алексею Олеговичу

Школа	ИШЭ	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 «Электроэнергетика и Электротехника»

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов проектирования: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску Оклад руководителя 25000 Оклад инженера 20000.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	30 % премии 15 % надбавки 16% накладные расходы 30% районный коэффициент
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	30% отчисления на социальные нужды

## Перечень вопросов, подлежащих проектированию и разработке:

1. Планирование и формирование бюджета проектирования	Планирование проектирования: - Составление плана работ - Определение трудоемкости работ - Построение диаграммы Ганта Формирование бюджета затрат на проектирование: - материальные затраты; - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - амортизация; - накладные расходы.
---	---

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Ганта
2. Бюджет затрат проектирования

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Копнов Алексей Олегович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4Б	Копнову Алексею Олеговичу

Школа	ИШЭ	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 «Электроэнергетика и Электротехника»

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:

- 1.1. вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)
- 1.2. опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)
- 1.3. негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)
- а. чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)

Горная выработка с главным объектом рассмотрения исследования – тяговым асинхронным электроприводом рудничного электровоза. Необходимо поддержание:

- 1.1. Нормативных уровней вибрации и шума, запыленности воздуха;
- 1.2. Нормативных мер обеспечения электро-, пожаро- и взрывобезопасности.
- 1.3. Горная промышленность подразумевает собой добычу полезных ископаемых, вследствие чего происходит их истощение, а также загрязнение окружающей среды.
- 1.4. Наиболее вероятные ЧС: загорания (пожары) взрывы, электрический удар, например, при замыкании фазы питания на корпус асинхронной электрической машины при нарушенном его заземлении.

2. Ознакомление и отбор законодательных и нормативных документов по теме и отбор их.

ГОСТ Р 57717-2017. Горное дело. Безопасность в угольных шахтах. Термины и определения;  
ГОСТ Р 55175-2012. Атмосфера рудничная. Методы контроля запыленности;  
СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы;  
СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки;  
ПУЭ, утвержденный министерством энергетики России от 08.07.2002, №204;  
ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность;  
Правила безопасности в угольных шахтах ПБ 05-618-03.

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:

- 1.1. физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- 1.2. действие фактора на организм человека;
- 1.3. приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);

Вредные факторы:

- 1) запыленность воздуха;
- 2) Производственная вибрация и шум;
- 3) Малая искусственная освещенность;
- 4) Ограниченное пространство;

1.4.предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности 2.1.механические опасности (источники, средства защиты); 2.2.термические опасности (источники, средства защиты); 2.3.электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); 2.4.пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	Вся электрическая цепь выработки оснащена заземлительным контуром, выполненным в соответствии с ПУЭ от 08.07.2002, №204. Опасные факторы: 2.1.Опасность электропоражения; 2.2.Пожаровзрывоопасность.
3. Охрана окружающей среды: 3.1.анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); 3.2.анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); 3.3.анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);	По п.3.1.: оценить масштабы уменьшения выбросов ЗВ от возможной экономии электроэнергии на рабочем месте.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: 4.1.перечень возможных ЧС на объекте; 4.2.выбор наиболее типичных ЧС; 4.3.разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;	Разработать мероприятия по предупреждению загораний и электропоражений и мер по ликвидации их последствий.
<b>Перечень графического и инструктивного материалов:</b>	
Обязательные графические материалы к расчётам по заданию (обязательно для специалистов и магистров).	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Панин В.Ф.	д.т.н., профессор		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Копнов Алексей Олегович		



**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики  
Отделение Электроэнергетики и электротехники  
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
Профиль «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»  
Уровень образования Бакалавр  
Период выполнения весенний семестр 2017/2018 учебного года

В форме:

Бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ – ПЛАН**  
**Выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом работы	14.06.2018г.
-----------------------------	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела модуля
16.04.2018г	Проектирование схемы и выбор элементов вольтодобавочного устройства	
5.05.2018г	Построение механических характеристик асинхронного двигателя	
11.05.2018г	Социальная ответственность	
14.05.2018г	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
25.05.2018г	Оформление пояснительной записки	

**Составил преподаватель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	К.Т.Н.		

**Согласовано:**

Отделение электро-энергетики и электротехники	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭЭ ИШЭ	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., доцент		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 76 с., 17 рисунков, 17 таблиц и 22 использованных источников.

Объект исследования – вольтодобавочное устройство аккумуляторного электровоза.

Цель работы – исследование тяговых частотно-управляемых асинхронных двигателей, разработка устройства последовательной вольтодобавки.

Ключевые слова: тяговый асинхронный двигатель, рудничный электровоз, вольтодобавочное устройство, аккумуляторная батарея, массогабаритные показатели, механические характеристики.

В процессе работы проводилась разработка схемы вольтодобавочного устройства и выбор его силовых элементов, а также расчет его массогабаритных показателей.

Выбраны аккумуляторные батареи и рассчитаны их массогабаритные показатели.

Построены механические характеристики тягового асинхронного двигателя.

Рассмотрен вопрос безопасности жизнедеятельности проекта, а также произведен технико-экономический расчет разработки вольтодобавочного устройства.

Выпускная квалификационная работа выполнен в текстовом редакторе Microsoft Word. Схемы обработаны в Visio. Математические расчеты проводись в системе компьютерной алгебры Mathcad 15.

## Оглавление

<b>РЕФЕРАТ</b> .....	10
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	13
<b>1. ЭЛЕКТРОПРИВОД РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА</b> .....	14
1.1. Общие сведения о рудничных электровозах .....	14
1.2. Тяговый частотно-управляемый асинхронный двигатель .....	17
1.3. Сведения о электровозе проектируемого вольтодобавочного устройства.....	21
<b>2. ВОЛЬТОДОБАВОЧНОЕ УСТРОЙСТВО</b> .....	25
2.1. Общие сведения о вольтодобавочном устройстве .....	25
2.2. Расчет вольтодобавочного устройства и выбор его компонентов. 27	
2.2.1. Расчет силового трансформатора .....	29
2.2.2. Инвертор высокочастотный .....	32
2.2.3. Выпрямитель высокочастотный .....	34
2.3. Массагабаритные показатели .....	38
<b>3. ПОСТРОЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ</b> .....	39
<b>4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ</b> .....	43
4.1. Введение .....	43
4.2. Анализ вредных факторов .....	44
4.3. Запыленность воздуха .....	44
4.4. Производственная вибрация и шум.....	45
4.5. Освещение.....	48
4.6. Анализ опасных факторов .....	50
4.7. Поражение электрическим током.....	50
4.8. Пожароопасность .....	53
4.9. Защита окружающей среды .....	54
4.10. Предотвращение чрезвычайных ситуаций (ЧС).....	56
4.10.1. Пожар – как источник ЧС.....	56
4.10.2. Электропоражение – как источник ЧС .....	58
<b>5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ</b> .....	60

<b>5.1. Планирование проектных работ .....</b>	<b>60</b>
<b>5.1.1. Структура работ в рамках проектирования .....</b>	<b>60</b>
<b>5.2. Определение трудоемкости выполнения работ .....</b>	<b>61</b>
<b>5.3. Разработка графика проведения проектирования .....</b>	<b>62</b>
<b>5.4. Смета затрат.....</b>	<b>68</b>
<b>5.4.1. Материальные расходы .....</b>	<b>68</b>
<b>5.4.2. Амортизация .....</b>	<b>68</b>
<b>5.4.3. Основная заработная плата .....</b>	<b>69</b>
<b>5.4.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....</b>	<b>70</b>
<b>5.4.5. Отчисления во внебюджетные фонды.....</b>	<b>71</b>
<b>5.4.6. Накладные расходы.....</b>	<b>72</b>
<b>5.5. Формирование бюджета затрат проектирования.....</b>	<b>72</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>74</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>75</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

В горнодобывающей промышленности широкое распространение получил рельсовый подземный электротранспорт, так как обладает высокой эффективностью в перевозке грузов на большие расстояния. Работа электрического оборудования и электрических машин на больших расстояниях от источника питания является особенностью данной промышленности.

При работе подземного транспорта, например, рудничного электровоза, в случае его питания напряжением через аккумуляторные батареи, на первый план выходят его массогабаритные показатели, так как они влияют на процесс трогания электровоза, а также и в целом на его движение.

Для рудничных аккумуляторных электровозов используется большое количество аккумуляторных батарей, вследствие чего масса электровоза становится большой и ухудшается процесс трогания электровоза.

В связи с этим актуальна разработка и создание вольтодобавочного устройства для электропривода рудничного электровоза, которое помещалось бы на электровоз, при этом занимая меньше места и имея меньшую массу в сравнении с аккумуляторными батареями.

## **1. ЭЛЕКТРОПРИВОД РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА**

### **1.1. Общие сведения о рудничных электровозах**

Прежде, чем говорить о электроприводе рудничного электровоза, необходимо разобраться, что такое электровоз.

Рудничный электровоз – это локомотив, с электрическими тяговыми двигателями. По способу питания электровозы бывают: аккумуляторными, контактными, комбинированными. Электровозы могут работать как на постоянном, так и на переменном токе. Также существуют электровозы разного исполнения, например, рудничного нормального исполнения или рудничного исполнения повышенной надежности, а также взрывобезопасного исполнения. [1]

Проектируемое вольтодобавочное устройство применяется в аккумуляторных электровозах, следовательно рассмотрим устройство именно таких электровозов, но прежде необходимо сказать, что оборудование применяемое в них, в целом не отличается от оборудования контактных электровозов. Главные отличия в комплексе их откатки, а также в том, что на аккумуляторных электровозах установлены тяговые батареи, а на контактных – токоприемники.

В состав комплекса откатки аккумуляторных электровозов входят: подвижный состав, а именно непосредственно электровозы и вагонетки, рельсовый путь, зарядная подстанция, гараж для электровозов, а также различное вспомогательное оборудование. Как было сказано выше, на электровозах установлены тяговые батареи, через которые и происходит питание электровозов.

Схематичное устройство данного вида электровозов, представлено на рисунке 1.

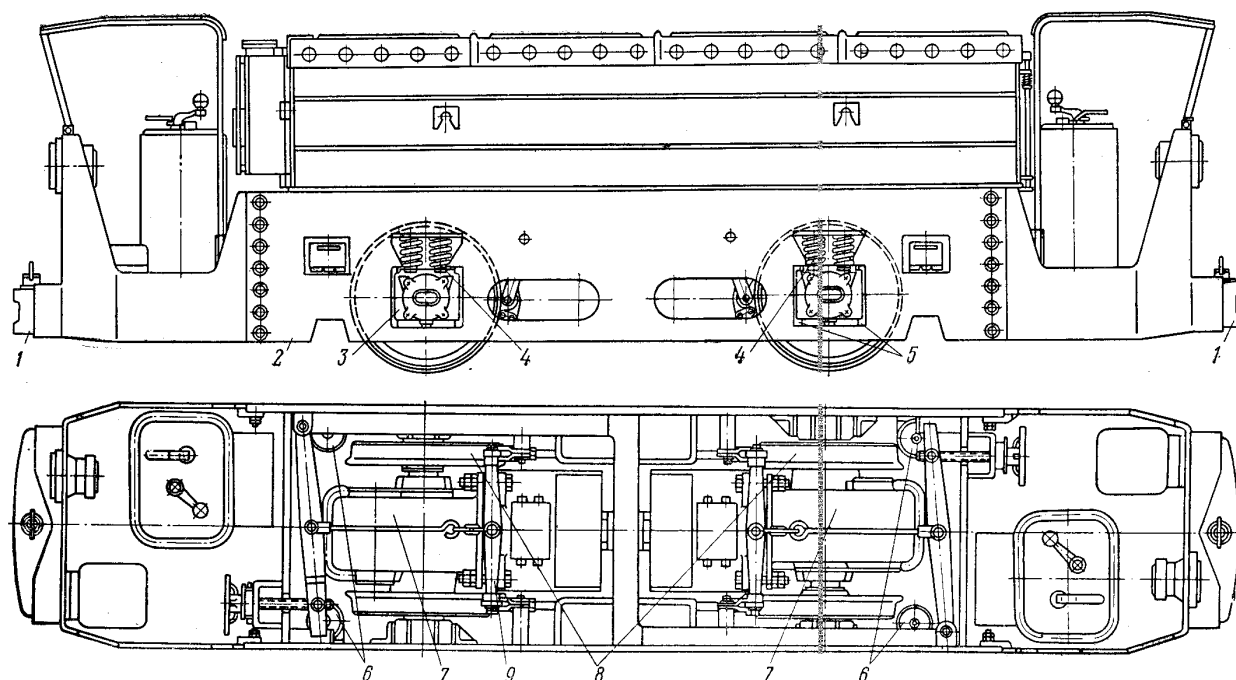


Рисунок 1. Схематическое устройство аккумуляторного электровоза: 1 – буферно-цепное устройство; 2 – рама с кабиной; 3 – буксы; 4 – рессорная пружина; 5 – челюсти; 6 – песочная система; 7 – тяговая передача; 8 – ходовая часть; 9 – тормозная система.

В состав электровозов входит следующее оборудование: тяговые двигатели с аппаратурой их управления, а также аппаратура для защиты силовых цепей, пусковые сопротивления, осветительная аппаратура, вспомогательное оборудование, электропроводка.

Все оборудование электровозов можно разделить на три части: механическую, электрическую и пневматическую. [2]

К механической части электровоза относят тележки и кузов. Тележка состоит из рамы, колесной пары с буксами, подвески тяговых двигателей, тяговой передачи, рычажно-тормозной передачи, рессорной подвески. Кузов опирается специальной опорой или рессорой на тележки. Колесные пары рессорами и буксами связаны с рамами тележек. Применение рессор позволяет меньше изнашиваться оборудованию электровоза из-за снижения силы ударов, которые воспринимает электровоз, когда проходит по неровному пути.

Колесные пары электровозов приводятся во вращение двигателями, которые называют тяговыми. Валы двигателей соединяют с осями колесных пар редукторами. Каждая колесная пара приводится во вращения своим тяговым двигателем.

Широкое распространение получил индивидуальный тяговый привод, при котором каждая колесная пара приводится во вращение своим тяговым двигателем.

Также выделяют групповой привод – один тяговый двигатель с помощью редуктора приводит во вращение, например, две колесные пары. Однако характеристики такого привода (технические и экономические) значительно уступают аналогичным характеристикам электровозов с индивидуальным приводом и их производство нецелесообразно.

Электрическая часть электровоза, помимо тяговых двигателей, включает в себя огромное количество различных аппаратов, предназначенных для пуска тяговых двигателей, изменения скорости и направления движения локомотива, электрического торможения, защиты, перегрузок и перенапряжений. Эти аппараты, также как и тяговые двигатели, находятся под высоким напряжением, а их конструкция зависит от рода используемого тока. Аппаратами обычно управляют дистанционно (из кабины машиниста).

Тяговые двигатели, в силу свойства обратимости электрических машин, при движении по спуску, а в некоторых случаях перед остановкой, переключают для работы в качестве генератора. Этот процесс называется рекуперацией электрической энергии.

Тяговые двигатели, а также часть электрических машин и аппаратов, выделяющих при работе значительное количество тепла, охлаждают потоками воздуха, которые создает вентилятор. Для управления некоторыми аппаратами используют сжатый воздух, который получают с помощью компрессоров, например, чтобы управлять пневматическими тормозами локомотива. Трансформаторы, установленные на электровозах, охлаждают маслом, а его



циркуляцию обеспечивает центробежный насос. Все эти вспомогательные механизмы приводятся в действие отдельными электрическими двигателями. Агрегат, состоящий из вспомогательного механизма и двигателя представляет собой вспомогательную машину.

Электрическое оборудование, работающее под высоким напряжением, состоит из двух электрических высоковольтных цепей – силовая цепь, в состав которой входят тяговые двигатели, пусковая и регулирующая аппаратура, и цепь вспомогательных машин вместе со своей аппаратурой. Низковольтные электрические аппараты, благодаря которым осуществляется управление аппаратами силовой и вспомогательной цепей, объединены в цепь управления.

Основным аппаратом цепи управления является контроллер машиниста, который расположен в кабине машиниста вместе с некоторыми другими низковольтными электрическими аппаратами.

Пневматическое оборудование электровоза включает в себя компрессоры, резервуары для сжатого воздуха, трубопроводов и пневматических приводов электрических аппаратов.

Также на электровозе обязательно имеется автоматический тормоз, приводимый в действие сжатым воздухом, и ручной.

## **1.2. Тяговый частотно-управляемый асинхронный двигатель**

Для локомотивного транспорта, как для любого другого, важно улучшить экономические показатели работы.

Улучшение экономических показателей работы локомотивного транспорта возможно за счет снижения удельного расхода электроэнергии средствами электропривода. Одним из перспективных направлений решения этой задачи является оснащение рудничных электровозов асинхронным частотно-регулируемым приводом. [3]

Также для локомотивного тягового двигателя существуют определенные требования, например, возможность регулирования частоты вращения в широком диапазоне, также необходимо иметь возможность регулирования в

широком диапазоне силы тяги, т.е. вращающего момента, развиваемого двигателем.

Таким образом, главной задачей при использовании привода является формирование рациональной тяговой характеристики рудничного электровоза, то есть зависимости развиваемой скорости от тягового усилия. Двигатель электровоза должен обеспечивать значительную силу тяги при трогании локомотива с места, его разгоне и при преодолении крутых подъемов и т.п., но при этом снижать ее при более легких условиях движения.

Использование асинхронного тягового электродвигателя позволяет успешно решать эту задачу.

Трехфазные асинхронные двигатели – самые распространенные. К их достоинствам относят: простоту устройства и обслуживания, высокую надежность при относительно невысокой стоимости, простой пуск. [4]

Частота вращения ротора асинхронного двигателя находится по выражению:

$$n_2 = (1 - s) \cdot n_1 = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot (1 - s)$$

Следовательно изменение частоты вращения ротора можно добиться изменением частоты питающего напряжения, скольжения, числа пар полюсов.

Основным способом регулирования скорости подвижного состава, имеющего тяговый асинхронный электропривод является регулирование скорости изменением частоты питающего напряжения. Регулирование в этом случае основано на изменении частоты вращения магнитного поля статора и осуществляется плавно и в широких пределах.

В асинхронном приводе путем соответствующего программирования системы управления можно получить тяговую характеристику практически любой формы. Наиболее известна для таких случаев тяговая характеристика, состоящая из трех участков: жесткого участка в области малых и отрицательных нагрузок, участка постоянной мощности в области средних и больших

нагрузок и участка ограничения момента в области нагрузок, близких к предельным по условию сцепления (рисунок 2). [5]

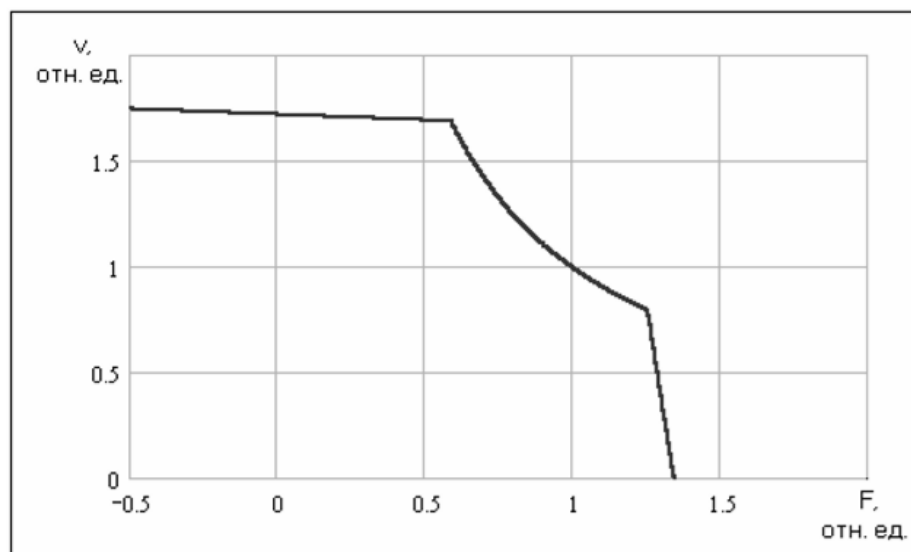


Рисунок 2. Тяговая характеристика электровоза

Асинхронный двигатель имеет жесткую механическую характеристику, благоприятную для тягового привода с точки зрения реализации тягового усилия. Таким образом, тяговую характеристику возможно получить, используя естественную механическую характеристику двигателя, только при этом необходимо соблюсти важное условие, а именно, поместить ее внутри допустимой области существования тяговых характеристик.

Рассмотрим вопрос реализации данной характеристики.

Силовая часть аккумуляторного электровоза включает в себя аккумуляторную батарею, элементы защиты и фильтры, преобразователь и непосредственно асинхронные тяговые двигатели. Преобразовательная установка (преобразователь) осуществляет преобразование постоянного напряжения аккумуляторной батареи в трехфазное переменное, а также обратное преобразование энергии при рекуперативном торможении (в случае его применения).

Важным вопросом при использовании преобразовательной установки является применение индивидуальных преобразователей отдельно для каждого из двух двигателей или же применение одного общего преобразователя для обоих двигателей. Особенность асинхронного привода в том, что при параллельном питании двигателей от одного источника и допустимой разнице

параметров приводов (например, различном износе ведущих колес) неравномерность нагрузки оказывается недопустимо большой. Таким образом, требуется питание тяговых двигателей от индивидуальных преобразователей либо питание от общего преобразователя с применением каких-либо специальных мер по выравниванию нагрузок тяговых двигателей.

Если сравнивать два этих метода использования преобразовательного устройства, то более перспективным является применение индивидуальных инверторов для питания каждого двигателя, так как потери в преобразователе в данном случае распределяются на два устройства, что упрощает их охлаждение (в шахтных условиях желательно применение естественного воздушного охлаждения, тогда как в общепромышленных преобразователях широко применяется принудительное охлаждение). Упрощенная принципиальная схема силовой части асинхронного тягового привода показана на рисунке 3.

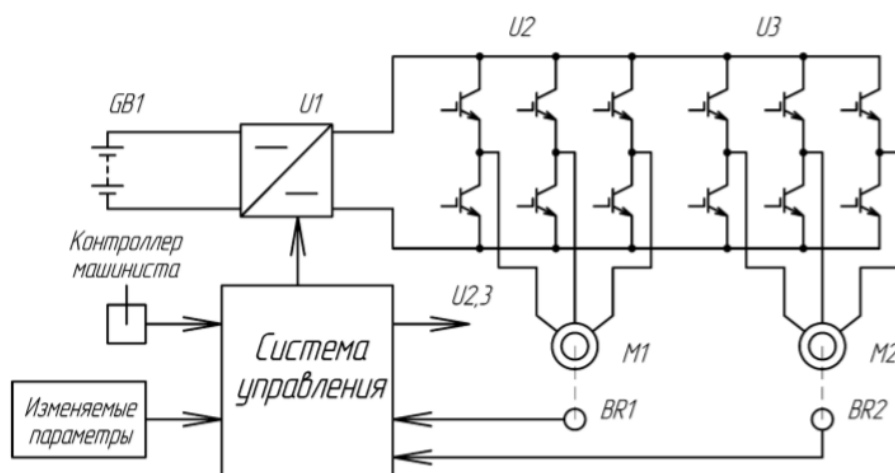


Рисунок 3. Упрощенная схема асинхронного тягового привода.

В представленной на рисунке схеме применяются два автономных инвертора  $U2$  и  $U3$ , преобразователь постоянного напряжения  $U1$  и тяговая батарея  $GB1$ .

При освоении асинхронного привода следует стремиться применять типовые двигатели, либо специальные, разработанные на базе типовых.

### 1.3. Сведения о электровозе проектируемого вольтодобавочного устройства

Для перевозки материалов и работников в горизонтальных горных выработках, безопасных по взрыву угольной пыли используют специальную технику. Например, шахтный аккумуляторный локомотив DLPA90F, являющийся аналогом отечественно электровоза АРП 14, предназначен для перевозки материала или людей в горизонтальной горной выработке по рельсовому пути с макс. углом наклона пути 50 %. Локомотив приводится в движение двумя взрывозащищенными трёхфазными асинхронными электродвигателями, управляемыми частотными преобразователями. Электродвигатели размещены на редукторах, которые переносят их мощность на колесную пару локомотива. Внешний вид локомотива изображен на рисунке 4. [7]



Рисунок 4. Шахтный аккумуляторный локомотив DLPA90F

Технические характеристики шахтного аккумуляторного локомотива DLPA90F представлены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики локомотива DLPA90F

Мощность	110 кВт (2×55 кВт)
Максимальное тяговое усилие	48 кН
Скорость	0-20 км/ч
Ширина колеи	1067 мм
Общая масса	19 т

В пункте 1.1, сказано о наличии у аккумуляторных локомотивов тяговых батарей, рассмотрим подробно тяговые батареи, которые применяют в рассматриваемом локомотиве.

Тяговая батарея – ряд аккумуляторов(элементов), соединенных последовательно между собой и размещенных в батарейном ящике.

Для электровозов в основном применяют два вида аккумуляторов: щелочные железо-никелевые и кислотные свинцовые. Однако наиболее широкое распространение на аккумуляторных электровозах получили железо-никелевые, так как имеют более высокую прочность, в случае коротких замыканий не выходят из строя, могут храниться в разряженном состоянии, обладают большим срок эксплуатации. Под емкостью аккумулятора понимают количество ампер-часов, отдаваемых при разряде до определенного конечного напряжения.

Батарейный ящик изготавливается из стальных листов. Внутри он покрыт электроизоляционным материалом. Взрывобезопасность достигается применением особых конструкций аккумуляторов и устройств, обеспечивающих снижение концентрации водорода внутри ящика, а также использованием специальных вентиляционно-разгрузочных устройств. Вентиляционно-разгрузочное устройство – набор пластин из нержавеющей стали, собранных в пакет, при этом расстояние между смежными пластинами устанавливают не более 0,4 мм с помощью прокладок. Благодаря щелям таких устройств, которые расположены на крышке ящика, осуществляется непрерывная вентиляция последнего. Также пакетная защита обеспечивает взрывозащищенность и разгружает ящик от опасного избыточного давления в случае взрыва. Недостатком пакетной защиты является снижение эффективности при загрязнении пластин. Чтобы снизить концентрацию водорода до приемлемой, ящик снабжается палладиевыми катализаторами, которые вызывают беспламенное окисление водорода. Для этой же цели можно использовать вентиляторы, работаю-

щие непрерывно или эпизодически, включающиеся автоматически при достижении допустимой концентрации водорода (2,5%), которая должна контролироваться специальным анализатором. [1]

Для описанного выше электровоза применяются аккумуляторы ТНЖ-500-У5. Внешний вид аккумулятора представлен на рисунке 5.



Рисунок 5. Аккумулятор ТНЖ-500-У5

Данные аккумуляторы обладают рядом преимуществ: [8]

- конструкция пробок обеспечивает свободный выход газов, исключая возможность взрыва или деформации аккумулятора;
- аккумуляторы сохраняют работоспособность после длительных перезарядов и глубоких разрядов;
- изоляцией для аккумуляторов является специальный резиновый чехол;
- батареи имеют длительный срок службы и надежны в работе.

Один аккумулятор имеет следующие характеристики:

Таблица 2. Характеристика аккумулятора

Тип аккумулятора	FL 500 M (ТНЖ-500-У5)
Номинальная емкость, А/ч	500
Габаритные размеры ДхШхВ, мм	155x167x538
Масса с электролитом, кг	24

Окончание таблицы 2.

Масса без электролита, кг.	20,2
Номинальное напряжение, В	1,2 В
Ток разряда/заряда, А	100
Время разряда, ч	5
Время заряда, ч	8

В обозначении типа аккумулятора присутствуют следующие обозначения:

- F – никель-железная электрохимическая система аккумулятора;
- L – длительный режим разряда;
- 500 – номинальная ёмкость в ампер-часах;
- M – для использования в шахтах.

Основным недостатком использования аккумуляторных батарей является их масса, так, чтобы получить необходимые для работы 220 В (действующее значение) переменного тока, необходимо использовать не менее 270 показанных выше аккумуляторных батарей, т.е. их масса будет равна:

$$m_{260} = 270 \cdot m_1 = 270 \cdot 24 = 6480 \text{ кг} ,$$

Но при этом ресурс работы 5 часов, а для того чтобы получить необходимый ресурс работы для смены, необходимо соединить их параллельно еще с 270 аккумуляторах. В итоге вес всех аккумуляторных батарей составит 12960 кг, что сказывается на процессе трогания локомотива и его возможности загрузки.

Поэтому актуально создание вольтодобавочного устройства, которое позволит обеспечить необходимое напряжение для работы локомотива, но при этом будет иметь меньшие массогабаритные показатели.



## 2. ВОЛЬТОДОБАВОЧНОЕ УСТРОЙСТВО

### 2.1. Общие сведения о вольтодобавочном устройстве

В общем случае вольтодобавочное устройство – это силовое преобразовательное устройство, включаемое последовательно с нагрузкой и создающее добавочное напряжение, складывающееся с напряжением основного источника питания. Наиболее просто, экономично и доступно это осуществляется с помощью двухобмоточного трансформатора, первичная обмотка которого питается от высокочастотного инвертора. Вторичная обмотка трансформатора подключается последовательно с нагрузкой через высокочастотный выпрямитель. С помощью этого трансформатора можно повысить или понизить напряжение на нагрузке на величину  $\pm \Delta U_{\text{доб}}$ . То есть необходимая величина вольтодобавочного устройства определяется величиной напряжения вторичной обмотки трансформатора.

Обобщенная схема повышающего преобразователя для компенсации отклонения напряжения контактной сети для облегчения пуска локомотива DLPA90F с полностью загруженным составом представлена на рисунке 6.



Рисунок 6. Обобщенная схема повышающего преобразователя для компенсации отклонения напряжения контактной сети: ВТ1 – тяговая батарея; ПЧ1 и ПЧ2 – преобразователь частоты 1 и 2; М – тяговые трехфазные асинхронные электродвигатели

Необходимо сказать, что питание подводится к преобразователю частоты минуя выпрямитель, то есть непосредственно к инвертору, это можно увидеть на рисунке 7.

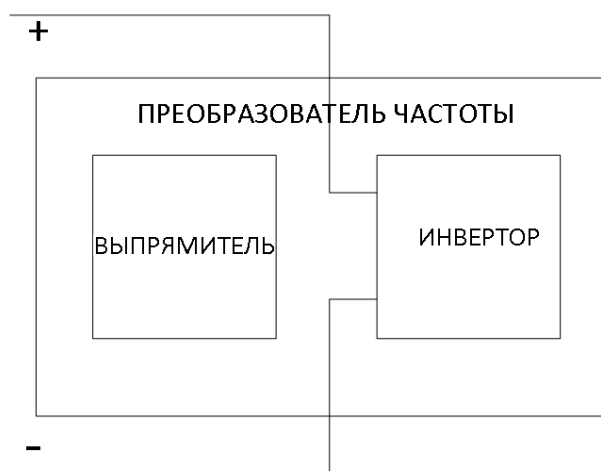


Рисунок 7. Подключение преобразователя частоты

Питание используемого локомотива осуществляется аккумуляторами ТНЖ-500-У5, по схеме и в комплектности с соединительными перемычками для сборки батарей из 144 аккумуляторов. Характеристики данной комплектности представлены в таблице 3:

Таблица 3. Характеристики комплекта аккумуляторов

Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, А/ч	Масса с электролитом, кг	Масса без электролита, кг
144ТНЖ-500-У5	172,8	500	3474,05	2926,85

При такой комплектности также нужно сказать и о габаритах. Так как данная комплектность нестандартна для производителей, то один из трех габаритов представлен приблизительно, а именно ширина – 1385 мм, при этом длина и высота комплектности определены точно: длина – 2672 мм, высота – 538 мм. Таким образом габариты комплектности: ДхШхВ – 2672х1385х538 мм.

Используя данную комплектность удалось увеличить выходное напряжение, однако при этом номинальная емкость не увеличилась, а значит за 5 часов работы батарея разрядится, что меньше, чем время рабочей смены. Для увеличения емкости используем параллельное соединение двух комплектностей 144ТНЖ-500-У5. В итоге при напряжении 172,8 В, номинальная емкость батареи составит 1000 А/ч, следовательно продолжительность ее использования при полной зарядки составит 10 ч, что уже позволит отработать целую смену. Однако при этом увеличится и масса батареи, она составит 6948 кг с электролитом, 5853 кг – без электролита.

Для заряда аккумуляторов используют зарядные устройства.

## 2.2. Расчет вольтодобавочного устройства и выбор его компонентов

Обобщенная схема повышающего преобразователя для локомотива DLPA90F с полностью загруженным составом представлена на рисунке 8.

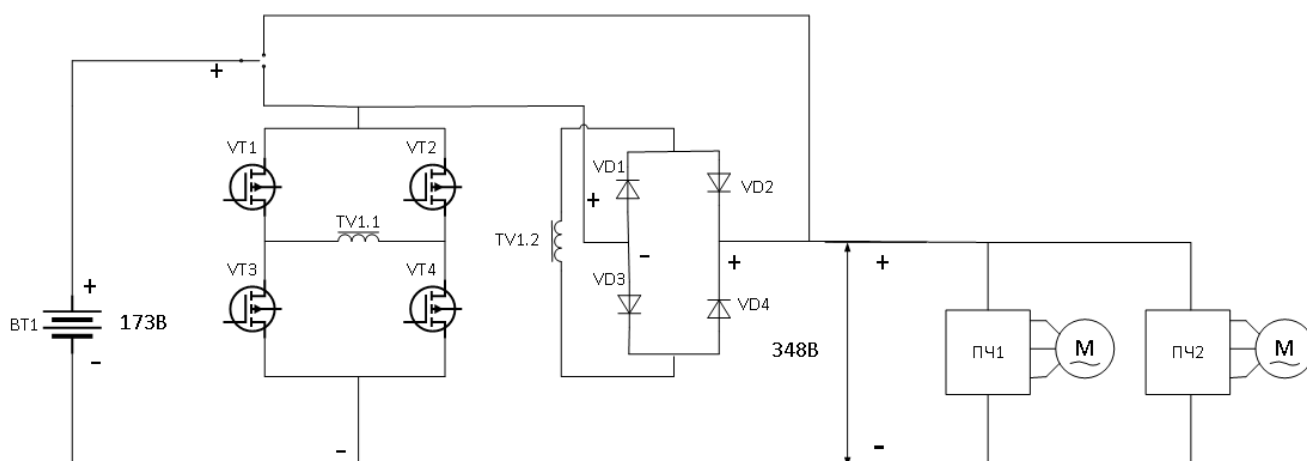


Рисунок 8. Обобщенная схема повышающего преобразователя

Так как выходная мощность последовательно включенного с нагрузкой преобразователя составляет порядка 33кВт, и его ток, имеет, значение 191 А, следовательно, сечение обмоток согласующего высокочастотного трансформатора получается достаточно большим, и физически выполнить обмотку трансформатора с необходимым количеством витков при доступном размере магнитопровода не представляется возможным. Кроме того необходимо ре-

шить вопрос охлаждения полупроводниковых приборов при прохождении через них номинального тока в прямом направлении (от сети к исполнительным тяговым двигателям). При этом размеры охладителей будут достаточно большими.

Поэтому принято решение разбить силовую часть нашего преобразователя на параллельно включенные модули, каждый из которых имеет общий охладитель с размещенными на нем ключами высокочастотного инвертора, выпрямителя и согласующий трансформатор. Предварительный расчет показывает, что количество модулей преобразователя должно быть не менее двенадцати, тогда мощность каждого параллельно включенного модуля составит 2750Вт.

Также необходимо сказать, что решение разбить устройство на 12 модулей, позволяет снизить пульсации напряжения и получить равномерное распределение напряжения постоянного тока.

Схема блочного устройства с вольтодобавкой представлена на рисунке 9.

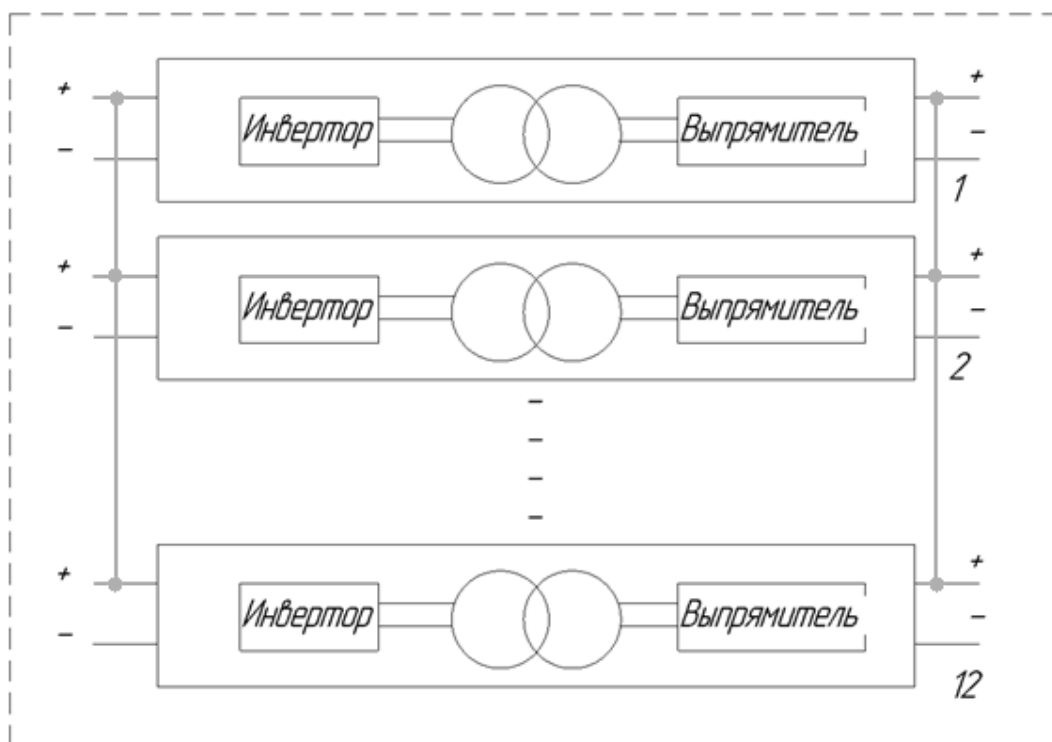


Рисунок 9. Схема устройства вольтодобавки с 12 параллельными модулями

### 2.2.1. Расчет силового трансформатора

Расчетная мощность трансформатора:

$$P_{\text{расч}} = 1,23 \times P_{\text{вых}} = 1,23 \times 2750 = 3383 \text{ (Вт)}$$

где 1,23 - коэффициент схемы.

По таблицам соответствия сердечников трансформаторов и расчетной мощности подбираем магнитопровод. Выбранный магнитопровод представлен на рисунке 10, а его характеристики в таблице 4.

Таблица 4. Параметры магнитопровода

Условное обозначение	Материал	Форма магнитопровода	D, мм	d, мм	h, мм
ГМ 412В ОЛ 45/70–25	Аморфное железо	Кольцевой	70	45	25

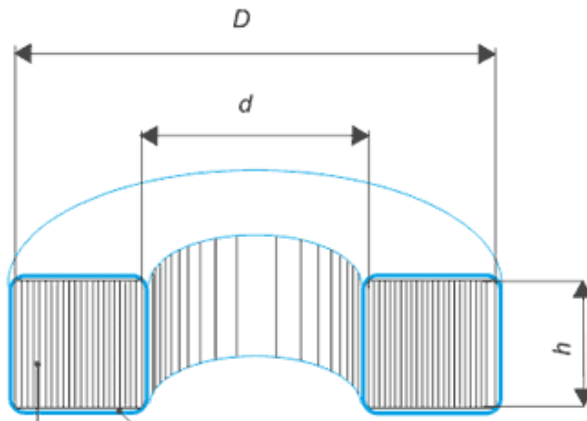


Рисунок 10. Сечение магнитопровода

Площадь сечения:

$$S_{\text{сеч}} = \frac{(D-d) \cdot h}{2} = \frac{(7-4,5) \cdot 2,5}{2} = 3,125 \text{ (см}^2\text{)}$$

Площадь окна:

$$S_o = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{4,5^2 \cdot 3,14}{4} = 15,9 \text{ (см}^2\text{)}$$

Габаритная мощность трансформатора:

$$\begin{aligned} P_{\text{габ}} &= 2 \cdot S_{\text{сеч}} \cdot S_o \cdot f \cdot B_m \cdot \eta \cdot j \cdot k_c \cdot k_m \cdot k_{\phi} \cdot 10^{-2} = \\ &= 2 \cdot 3,125 \cdot 15,9 \cdot 50000 \cdot 1,17 \cdot 0,97 \cdot 3 \cdot 0,7 \cdot 0,15 \cdot 1 \cdot 10^{-2} = 4657 \text{ (Вт)}, \end{aligned}$$

где  $B_m = 1,17$  – максимальная магнитная индукция, Тл;

$\eta = 0,97$  – КПД трансформатора;

$k_c = 0,7$  – коэффициент заполнения сердечника;

$k_m = 0,15$  – коэффициент заполнения окна;

$k_\phi = 1$  – коэффициент формы.

Условие, подтверждающее правильность выбора магнитопровода трансформатора выполнено:

$$P_{\text{расч}} < P_{\text{габ}}$$

Мощность, используемая трансформатором:

$$P_{\text{исп}} = 1,23 \cdot \frac{P_{\text{вых}}}{\eta} = 1,23 \cdot \frac{2750}{0,97} = 3487 \text{ (Вт)}$$

Рассчитываем коэффициент трансформации:

$$k_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{сети}}}{U_{\text{вых}}} = \frac{172,8}{175} = 0,98$$

Рассчитываем число витков первичной обмотки:

$$w_1 = \frac{U_1 \cdot 0,95}{4 \cdot B_{\text{раб}} \cdot S_{\text{сеч}} \cdot f \cdot k_\phi \cdot k_c} = \frac{172,8 \cdot 0,95}{4 \cdot 0,3 \cdot 3,125 \cdot 50000 \cdot 1 \cdot 0,7} = 12,5 \approx 13$$

Число витков вторичных обмоток:

$$w_2 = \frac{w_1}{k_{\text{тр}}} = \frac{13}{0,98} \approx 14$$

Определяем диаметры проводов обмоток:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot I_1}{\pi \cdot j}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 16}{3,14 \cdot 3}} = 2,6 \text{ (мм)}$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot I_2}{\pi \cdot j}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 15,7}{3,14 \cdot 3}} = 2,58 \text{ (мм)}$$

Диаметр провода не используется более 1 мм, тогда используем эмалированный провод ПЭВТЛ диаметром  $d_{\text{пр1}} = 0,8$  (мм) и скручиваем в литцендрат из 4 проводников.

Провод вторичной диаметром  $d_{\text{пр2}} = 0,8$  (мм) и скручиваем в литцендрат из 5 проводников.

Определяем площадь сечения провода первичной обмотки:

$$S_1 = \frac{I_1}{j} = \frac{16}{3} = 5,33 \text{ (мм}^2\text{)}$$

Площадь сечения первичной обмотки:

$$S_{\text{м1}} = S_1 \cdot w_1 \cdot 10^{-2} = 5,33 \cdot 13 \cdot 10^{-2} = 0,69 \text{ (см}^2\text{)}$$

Определяем площадь сечения провода вторичной обмотки:

$$S_2 = \frac{I_2}{j} = \frac{15,7}{3} = 5,23 \text{ (мм}^2\text{)}$$

Площадь сечения вторичной обмотки:

$$S_{\text{м2}} = S_2 \cdot w_2 \cdot 10^{-2} = 5,23 \cdot 13 \cdot 10^{-2} = 0,679 \text{ (см}^2\text{)}$$

Площадь сечения:

$$S_{\text{м}} = S_{\text{м1}} + S_{\text{м2}} = 0,69 + 0,679 = 1,37 \text{ (см}^2\text{)}$$

Коэффициент заполнения магнитопровода, условие:

$$k_3 = \frac{S_{\text{м}} + 0,1 \cdot S_0}{S_0} = \frac{1,37 + 0,1 \cdot 15,9}{15,9} = 0,186$$

Рассчитываем удельные магнитные потери трансформатора:

$$P = 3,3 \cdot 10^{-6} \cdot f^{1,7} \cdot B_m^{2,05} = 3,3 \cdot 10^{-6} \cdot 50000^{1,7} \cdot 0,3^{2,05} = 27,218 \text{ (Вт/кг)}$$

Объем сердечника:

$$V = \frac{\pi \cdot h(D^2 - d^2)}{4} = \frac{3,14 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \cdot [(70 \cdot 10^{-3})^2 - (45 \cdot 10^{-3})^2]}{4} = 5,645 \cdot 10^{-5} \text{ (м}^3\text{)}$$

Масса сердечника:

$$m = \rho \cdot V \cdot k_c = 7400 \cdot 5,645 \cdot 10^{-5} \cdot 0,7 = 0,292 \text{ (кг)}$$

Умножив удельные потери на массу магнитопровода, получаем потери мощности в сердечнике:

$$P_M = P_{уд} \cdot m = 27,218 \cdot 0,292 = 7,959 \text{ (Вт)}$$

### 2.2.2. Инвертор высокочастотный

$$U_{ном} = 172,8 \text{ (В)}$$

$$I = 16 \text{ (А)}$$

Выбираем MOSFET-транзистор STW46NF30 (рисунок 11), фирмы STMicroelectronics, характеристики которого:

$$I_d = 42 \text{ (А)}, U_{ds} = 300 \text{ (В)}, R_{ds} = 63 \text{ (мОм)}$$

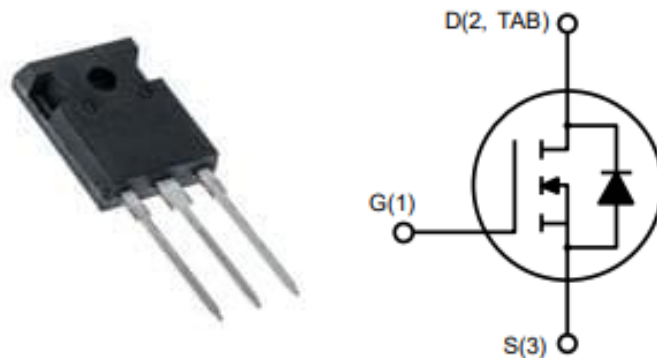


Рисунок 11. Эскиз транзистора

Рассчитаем потери на проводимость на выбранном транзисторе:

$$P_{пр} = I_{ср}^2 \cdot R_{ds} = 8,6^2 \cdot 0,063 = 4,66 \text{ (Вт)}$$

Рассчитаем потери на переключение на выбранном транзисторе:

$$P_{sw} = \frac{U_H \cdot I_H}{6T} (t_r + t_f) = \frac{160,8 \cdot 17,2}{6 \cdot (1/50000)} (38 \cdot 10^{-9} + 48 \cdot 10^{-9}) = 1,98 \text{ (Вт)}$$



Определим суммарные потери на транзисторе:

$$P_{\Sigma} = P_{np} + P_{sw} = 4,66 + 1,98 = 6,64 \text{ (Вт)}$$

Температура кристалла, при температуре окружающей среды  $T_a = 35^{\circ}\text{C}$ :

$$T_j = T_a + R_{ja} \cdot P_{\Sigma} = 35 + 40 \cdot 6,64 = 300^{\circ}\text{C}$$

Расчетная температура значительно превышает допустимую температуру кристалла, представленную в документации на транзистор ( $T_j = 150^{\circ}\text{C}$ ), радиатор необходим.

Тепловое сопротивление для данного транзистора  $R_{jc} = 0,5 \text{ (}^{\circ}\text{C/Вт)}$

Тепловое сопротивление корпус - радиатор  $R_{cs} = 0,13 \text{ (}^{\circ}\text{C/Вт)}$

Рабочая температура кристалла  $T_{jmax} = 75 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$

Рабочая температура радиатора

$$T_s = T_{jmax} - P_{\Sigma} (R_{jc} + R_{cs}) = 75 - 6,64 \cdot (0,5 + 0,13) = 70,8^{\circ}\text{C}$$

Необходимое тепловое сопротивление радиатор-окружающая среда

$$R_{sa} = \frac{T_s - T_a}{P_{\Sigma}} = \frac{70,8 - 35}{6,64} = 5,4$$

Необходимая площадь радиатора

$$S_p = \frac{1}{R_{sa}} = \frac{1}{5,4} = 0,185 \text{ (м}^2\text{)}$$

Так как у нас транзисторный мост состоит из 4-х транзисторов, то общая площадь радиатора равна:

$$S_{p.общ} = 4 \cdot S_p = 4 \cdot 0,185 = 0,74 \text{ (м}^2\text{)}$$

По определенной площади подбираем радиатор

Выбран радиатор серии АВМ-076-200:



Рисунок 12. Корпус и эскиз радиатора

Длина ребра:  $L = 0,2$  (м)

Высота ребра:  $H = 0,0342$  (м)

Ширина ребра:  $W = 0,0032$  (м)

Межреберное расстояние:  $X = 0,01$  (м)

Отсюда, полная площадь ребра:

$$S_{\text{ребра}} = 2 \cdot L \cdot H + L \cdot W = 2 \cdot 0,2 \cdot 0,0342 + 0,2 \cdot 0,0032 = 0,0143 \text{ (м}^2\text{)}$$

Площадь между ребер:

$$S_{\text{межреб}} = L \cdot X = 0,2 \cdot 0,01 = 0,002 \text{ (м}^2\text{)}$$

С учетом количества ребер и расстояния между ними площадь радиатора:

$$S = S_{\text{ребра}} \cdot 46 + S_{\text{межреб}} \cdot 45 = 0,0143 \cdot 46 + 0,002 \cdot 45 = 0,75 \text{ (м}^2\text{)},$$

где 46 - количество ребер в выбранном радиаторе, а 45 - количество межреберных промежутков.

### 2.2.3. Выпрямитель высокочастотный

В качестве выпрямителя используется схема выпрямления со средней точкой. Выбор диодов необходимо осуществлять по среднему току и обратному напряжению.

Определяем обратное напряжение:

$$U_{\text{обр}} = 2 \cdot U_{\text{н}} = 2 \cdot 175 = 350 \text{ (В)}$$

Определяем средний ток, протекающий через диод:

$$I_{dcp} = \frac{I_d}{2} = \frac{15,7}{2} = 7,85 \text{ (A)}$$

Выбираем диод типа VS-40EPS08PBFc  $U_{обр} = 800 \text{ (В)}$ ,  $I_D = 40 \text{ (А)}$ , параметры которых превышают рассчитанные значения, фирмы Vishay.

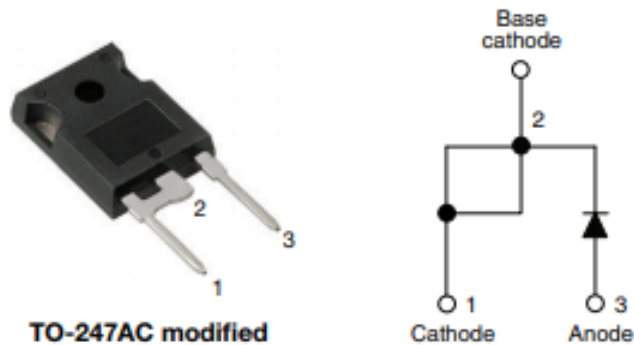


Рисунок 13. Диод VS-1N3765

В паспортных данных на диод находим график зависимости прямого падения напряжения  $U_f$  на диоде в функции от прямого тока  $I_{пр}$ , протекающего через него (рисунок 14).

На данном графике представлены зависимости для двух температурных режимов:  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $150^{\circ}\text{C}$ . Выбор проводим для температуры  $75^{\circ}\text{C}$ . По току  $I_{пр} = 15,7 \text{ А}$  определяем, что падение напряжения на диоде будет составлять приблизительно  $0,85 \text{ В}$

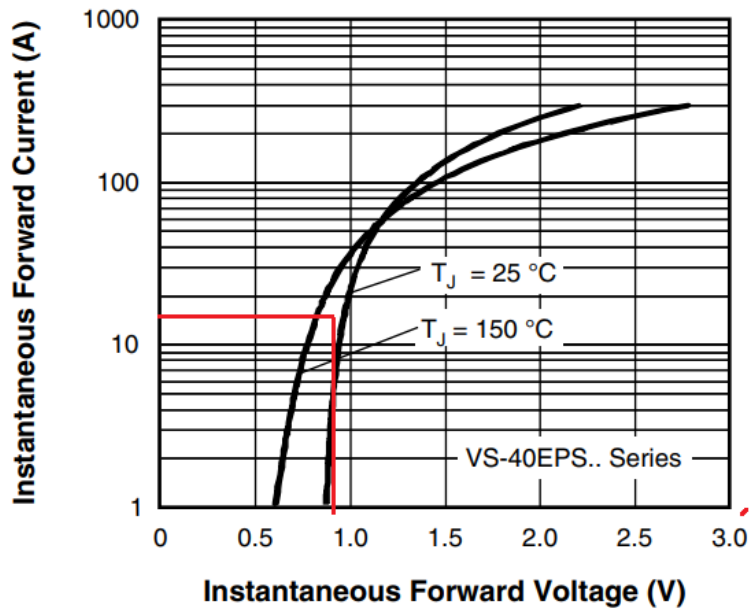


Рисунок 14. Определение мощности активных потерь в диоде, показатель определяющий нагрев полупроводникового кристалла диода, и как следствие, его корпуса.

Активные потери определяются по следующей формуле:

$$P_{VD} = I_{пр} \cdot U_f = 15,7 \cdot 0,85 = 13,35 \text{ (Вт)}$$

Определим необходимость радиатора, для этого запишем уравнение теплового баланса:

$$T_j - T_a = R_{ja} \cdot P_{VD}$$

тогда температура кристалла:

$$T_j = T_a + R_{ja} \cdot P_{VD} = 35 + 40 \cdot 13,35 = 568,8 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Расчетная температура значительно превышает допустимую температуру кристалла, представленную в документации на диод ( $T_j = 150^\circ\text{C}$ ), радиатор необходим.

Из документации на диод:

Тепловое сопротивление для данного транзистора  $R_{jc} = 0,6 \text{ (}^\circ\text{C/Вт)}$

Тепловое сопротивление корпус - радиатор  $R_{cs} = 0,2 \text{ (}^\circ\text{C/Вт)}$

Рабочая температура кристалла  $T_{j\max} = 75 \text{ (}^\circ\text{C)}$

Рабочая температура радиатора:

$$T_s = T_{j\max} - P_{\Sigma} (R_{jc} + R_{cs}) = 75 - 13,35 \cdot (0,6 + 0,2) = 64,32 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

Необходимое тепловое сопротивление радиатор-окружающая среда:

$$R_{sa} = \frac{T_s - T_a}{P_{VD}} = \frac{64,32 - 35}{13,35} = 1,89$$

Необходимая площадь радиатора:

$$S_p = \frac{1}{\alpha \cdot R_{sa}} = \frac{1}{14 \cdot 1,89} = 0,038 \text{ (м}^2\text{)}$$

где  $\alpha = 14$  – коэффициент теплоотдачи для чернённого радиатора, Вт/м<sup>2</sup>·°C.

Так как диодный мост состоит из 4х диодов, то общая площадь радиатора равна:

$$S_{p.\text{общ}} = 4 \cdot S_p = 4 \cdot 0,038 = 0,15 \text{ (м}^2\text{)}$$

По определенной площади подбирается радиатор

Выбран радиатор серии АВМ-076-200:



Рисунок 15. Корпус и эскиз радиатора

Длина ребра:  $L = 0,2$  (м)

Высота ребра:  $H = 0,0342$  (м)

Ширина ребра:  $W = 0,0032$  (м)

Межреберное расстояние:  $X = 0,01$  (м)

Отсюда, полная площадь ребра:

$$S_{\text{ребра}} = 2 \cdot L \cdot H + L \cdot W = 2 \cdot 0,2 \cdot 0,0342 + 0,2 \cdot 0,0032 = 0,0143 \text{ (м}^2\text{)}$$

Площадь между ребер:

$$S_{\text{межреб}} = L \cdot X = 0,2 \cdot 0,01 = 0,002 \text{ (м}^2\text{)}$$

С учетом количества ребер и расстояния между ними площадь радиатора:

$$S = S_{\text{ребра}} \cdot 10 + S_{\text{межреб}} \cdot 9 = 0,0143 \cdot 10 + 0,002 \cdot 9 = 0,161 \text{ (м}^2\text{)},$$

где 10 – количество ребер в выбранном радиаторе, 9 – количество межреберных промежутков.

### **2.3. Массогабаритные показатели**

Для реализации данного устройства предварительно потребуется стойка типа "Вишня" в количестве 3-х штук размером 1770×600×555 мм. Приблизительная масса конечной установки 550...600 кг.

В итоге вместо 12960 кг, получаемых при использовании одних аккумуляторных батарей, получится масса около 7000 кг при использовании 134ТНЖ-500-У5 и вольтодобавочного устройства, т.е. масса сократится менее, чем в 2 раза.

### 3. ПОСТРОЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Помимо массогабаритных показателей, в аккумуляторных электровозах, очень важен и их пусковой момент, так как развиваемый двигателем пусковой момент должен обеспечивать трогание полностью загруженного электровоза, а чем тяжелее электровоз, тем больше должен быть развиваемый двигателем момент. Необходимо рассмотреть механические характеристики двигателя при использовании вольтодобавочного устройства и без него. Наиболее близкими по условию эксплуатации к тяговым двигателям являются серийные тяговые асинхронные двигатели. [11]

Для рассматриваемого электровоза, выбран двигатель 4МТКМ2П225L6, так как такой двигатель наиболее приближен к требуемому тяговому двигателю по мощности и разработан для частотно-регулируемого электропривода, внешний вид двигателя представлен на рисунке 16. [12]



Рисунок 16. Асинхронный электродвигатель 4МТКМ2П225L6

Используемый двигатель имеет характеристики, представленные в таблице 5:

Таблица 5. Технические характеристики используемого двигателя

Заданные величины	Условное обозначение	Единица измерения	Численное значение
Напряжение	$U$	В	380/220
Мощность	$P_n$	кВт	55
КПД	$\eta_n$	%	86
Скольжение при номинальной нагрузке	$S_n$	%	7,5

Окончание таблицы 5.

Заданные величины	Условное обозначение	Единица измерения	Численное значение
Коэффициент мощности	$\cos \varphi_n$	о.е.	0,87
Кратность пускового тока	$k_i$	о.е.	7,4
Кратность пускового момента	$k_n$	о.е.	3,4
Синхронная частота вращения	$n_c$	Об/мин	1000

Приведем следующие показатели двигателя:

Синхронная угловая скорость вращения двигателя:

$$\omega_c = \frac{\pi \cdot n_c}{30} = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,72 \text{ рад/с}$$

Номинальная частота вращения двигателя:

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - S_n) \cdot n_c = (1 - 0,075) \cdot 1000 = 925 \text{ об/мин}$$

Номинальная угловая скорость:

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - S_n) \cdot \omega_c = (1 - 0,075) \cdot 104,72 = 96,86 \text{ рад/с}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{55000}{96,86} = 567,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номинальный фазный ток:

$$I_{\phi_n} = \frac{P_{\text{дв}}}{m \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{55000}{3 \cdot 220 \cdot 0,87 \cdot 0,86} = 111,3 \text{ А}$$

Схема замещения асинхронного двигателя, имеет следующие параметры:

$R_l = 0,155 \text{ Ом}$  – активное сопротивление обмотки статора;

$X_l = 0,051$  – индуктивное сопротивление обмотки статора;

$L_{l\delta} = 0,00016 \text{ Гн}$  – индуктивность обмотки статора;

$X_m = 5,782 \text{ Ом}$  – индуктивное сопротивление намагничивания;

$R_2 = 0,152 \text{ Ом}$  – активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора;



$L_m = 0,048$  Гн – индуктивность контура намагничивания;

$X_2 = 0,069$  Ом – индуктивное сопротивление обмотки ротора;

$L_{2\delta} = 0,00022$  Гн – приведенная индуктивность обмотки ротора;

$X_k = 0,122$  Ом – сопротивление короткого замыкания.

Естественная механическая характеристика  $\omega=f(M)$  асинхронного двигателя рассчитывается по выражению:

$$M = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R'_2}{\omega_n \cdot s \cdot \left[ \left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_k + \left( \frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_m} \right)^2 \right]}$$

Необходимо построить характеристики для двух случаев: при использовании вольтодобавочного устройства и когда оно отключено. В первом случае

$U_{1\phi} = 220$ В, во втором  $U_{1\phi} = 123$ В. (так как  $U_{ад} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{2}} = \frac{171}{\sqrt{2}} = 123$ В)

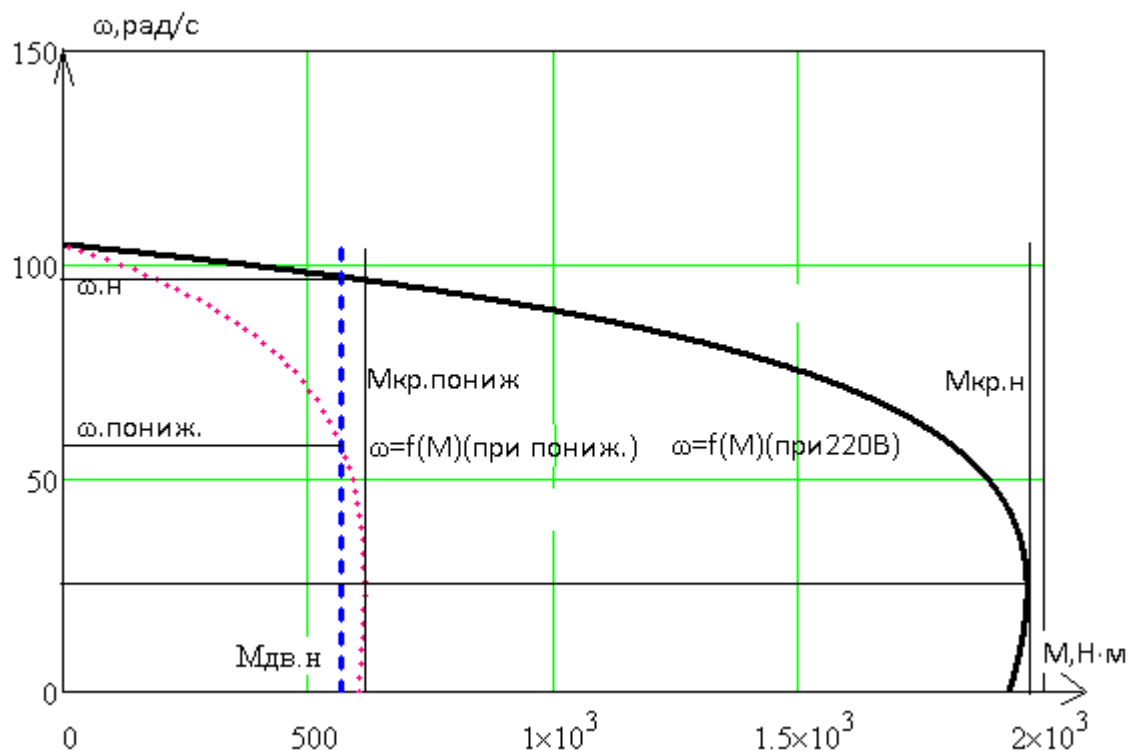


Рисунок 17. механическая характеристика  $\omega=f(M)$  асинхронного двигателя при номинальном и пониженном напряжениях.

Таким образом делаем вывод, что использование вольтодобавочного устройства позволяет значительно увеличить момент двигателя. Так пусковой

момент с вольтодобавочным устройством (при  $U_{1\phi} = 220\text{В}$ ) имеет значение  $M_{\text{пуск}(220)} = 1930\text{Н} \cdot \text{м}$ , а при напряжении от аккумуляторов ( $U_{1\phi} = 123\text{В}$ ) –  $M_{\text{пуск}(123)} = 631\text{Н} \cdot \text{м}$ . То есть разница в пусковых моментах:

$$M = \frac{M_{\text{пуск}(123)}}{M_{\text{пуск}(220)}} = \frac{631}{1930} = 0,318$$

Что также подтверждается и следующим расчетом:

$$\frac{U_{\text{исп}}^2}{U_{\text{ном}}^2} = \frac{123^2}{220^2} = 0,318$$

Таким образом происходит потеря почти 70% пускового момента, а значит использование вольтодобавочного устройства, помимо уменьшения массы электровоза, способствует также и увеличению его пускового момента.

## **4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **4.1. Введение**

Безопасность труда – условия труда, при которых воздействие на работающих вредных и (или) опасных производственных факторов исключено либо уровни их воздействия не превышают установленных нормативов. [13]

Цель разработки раздела «Социальная ответственность» – принятие проектных решений, выполнение которых позволит исключить несчастные случаи и профессиональные заболевания на производстве, обеспечить максимальное снижение вредных воздействий на окружающую среду, безопасность в чрезвычайных ситуациях, к тому же позволить экономно расходовать ресурсы.

Изучение этих вопросов отвечает требованиям, предъявляемым международным стандартом ICCSR-26000:2011 «Социальная ответственность организации» к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым принимаются указанные проектные решения технического, организационного и правового характера.

## **4.2. Анализ вредных факторов**

В горнодобывающей промышленности широкое распространение получил электротранспорт, так как обладает высокой эффективностью в транспортировке грузов. Рассматриваемый тяговый асинхронный двигатель располагается на электровозе, работающем в горизонтальных горных выработках, безопасных по взрыву угольной пыли. В горных выработках, шахтах на рабочий персонал могут воздействовать определенные вредные факторы.

Вредный производственный фактор – фактор производственной среды и (или) трудового процесса, воздействие которого в определенных условиях на организм работающего может сразу или впоследствии привести к заболеванию, в том числе смертельному, или отразиться на здоровье потомства пострадавшего, или в отдельных специфичных случаях перехода в опасный производственный фактор - вызвать травму. [13]

В горных выработках к вредным факторам относят:

- 1) запыленность воздуха;
- 2) Производственная вибрация и шум;
- 3) Малая искусственная освещенность рабочего пространства машиниста электровоза;
- 4) Ограниченное пространство;

## **4.3. Запыленность воздуха**

Работа в горных выработках отличается от работы на поверхности земли. Прежде всего необходимо учитывать, что в горных выработках и шахтах сниженное количество кислорода, при это содержание углекислого газа и азота выше. Также из-за специфичности производства, в воздухе присутствуют в большом количестве мелкодисперсные частицы руды. Основным источником мелкодисперсной пыли является  $\text{SiO}_2$ , в результате контакта со слизистой оболочкой образует кремниевую кислоту  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ , ускоряющая разрушение дыхательных путей. В связи с этим у работников отрасли могут возникать различные заболевания легких, например пневмокониоз.

В соответствии с нормативными документами ТБ ПДК для пыли, при содержании в ней SiO<sub>2</sub>:

- SiO<sub>2</sub> – 1 мг/м<sup>3</sup> – 70%;
- SiO<sub>2</sub> – 2 мг/м<sup>3</sup> – (10–70%);
- SiO<sub>2</sub> – 4 мг/м<sup>3</sup> – (5–10%);
- SiO<sub>2</sub> – 4 мг/м<sup>3</sup> – (5–10%);
- SiO<sub>2</sub> – 10 мг/м<sup>3</sup> – до 5%(6 мг/м<sup>3</sup> - антрацитовая пыль) ;

Во избежание заболеваний необходимо обеспечивать работников соответствующими средствами защиты. Например, средствами индивидуальной защиты – респираторами, предотвращающими попадание частиц в дыхательные пути. Также средствами коллективной защиты – системы вентиляции для поддержания постоянного потока воздуха в выработках и шахтах. [14]

Продолжительность нахождения рабочего персонала в запыленной рабочей зоне регламентирует ГОСТ Р 55175-2012.

#### **4.4. Производственная вибрация и шум**

Вибрации по воздействию на организм человека, принято разделять на локальную и общую. Локальная оказывает воздействие на конкретный орган работника, общая – на весь организм. Источником Локальной вибрации является пневмоинструмент, оказывающий влияния на руки работника. Источником общей вибрации служат компрессоры, рельсовый транспорт и др.

Локальная вибрация, при длительном воздействии на работника, способствует развитию у работника заболеваний, например, болезней суставов рук. Общая вибрация, при длительном воздействии может привести к развитию сердечно-сосудистых заболеваний, заболеваний нервной системы.

Предельно допустимый уровень вибрации - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами

исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Нормируемый диапазон частот устанавливается:

- для локальной вибрации в виде октавных полос со среднегеометрическими частотами: 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000Гц;
- для общей вибрации в виде октавных или 1/3 октавных полос со среднегеометрическими частотами: 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 31,5; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0Гц.

Для оценки вибрации пользуются относительными уровнями виброскорости и виброускорения, выражаемыми в децибелах (дБ):

$$L_v = 20 \log \left( \frac{V}{5 \cdot 10^{-8}} \right), \text{дБ} - \text{виброскорость},$$

$$L_a = 20 \log \left( \frac{a}{1 \cdot 10^{-6}} \right), \text{дБ} - \text{виброускорение. [15]}$$

Таблица 6. Допустимые величины вибрации в производственных помещениях предприятий

Амплитуда колебаний вибрации, мм	Частота вибрации, Гц	Скорость колебательных движений, см/с	Ускорение колебательных движений, см/с <sup>2</sup>
0,6-0,4	До3	1,12-0,76	22-14
0,4-0,15	3-5	0,76-0,46	14-15
0,15-0,05	5-8	0,46-0,25	15-13
0,05-0,03	8-15	0,25-0,28	13-27
0,03-0,009	15-30	0,28-0,17	27-32
0,009-0,007	30-50	0,17-0,22	32-70
0,007-0,005	50-75	0,22-0,23	70-112

Для защиты персонала от действия вибрации применяются средства защиты. Например, средства индивидуальной защиты (виброзащитная обувь, перчатки), снижение вибрации в ее источнике, путем усовершенствования рабочих машин и механизмов, использование виброгашения и виброизоляции.

Также необходимо ограничивать нахождение работников под действием вибрации. Продолжительность работ в области повышенной вибрации нормируется санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.566-96 и ГОСТ 12.1.012-9.

Основным источником шума является различное инженерное оборудование, двигатели, компрессоры, рельсовый транспорт и др.

Продолжительное воздействие ненормируемого шума на организм человека приводит к появлению у рабочих заболеваний, таких как тугоухость, глухота, способствует развитию у работников заболеваний центральной и вегетативной нервной системы.

Основная цель нормирования шума на рабочих местах — это установление предельно допустимого уровня шума (ПДУ). Производственный шум не должен превышать предельные допустимые значения. Установлены предельно допустимые значения шума, для рабочего места, расположенного в кабине электровоза, которые представлены в таблице 7. [16]

Таблица 7. Предельно допустимые значения шума для рабочего места в кабине электровоза.

Уровни звукового давления дБ, в октановых полосах со средне-геометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звук(дБ)
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Также установлено и допустимое время работы в зоне шума. Данные приведены в таблице 8.

Таблица 8. Максимальное разрешенное время пребывания в зоне шума

Уровень шума, дБ	Максимальное разрешенное время пребывания в зоне шума, мин
85	480
88	240
91	120
94	60
97	30
100	15

Чтобы избежать неблагоприятного действия шума на организм человека на производстве необходимо использовать средства защиты персонала. Могут использоваться как средства коллективной защиты – специальные экраны, так и средства индивидуальной защиты, например, противошумные наушники или беруши. Продолжительность работ в области повышенного звукового давления нормируется санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 и ГОСТ 12.1.003-83.

#### 4.5. Освещение

Поверхностные горноразведочные выработки легкого типа, проводимые, как правило, в пределах светового дня, в дополнительном освещении не нуждаются. Освещать приходится лишь подземные выработки, в которых невозможно естественное освещение.

Хорошее и рациональное освещение выработок имеет очень большое значение, так как от него в значительной степени зависят санитарные условия труда и безопасность работ, производительность труда и качество выполняемой работы. Так, например, недостаточная освещенность приводит к нарушению зрения, повышенному травматизму, а отсутствие естественного освещения приводит к ухудшению обмена веществ.

Минимальные значения освещенности в различных рабочих зонах подземных выработок угольных шахт отображены в ГОСТ Р 55733-2013 и приведены в таблице 10.

Таблица 10. Минимальные значения освещенности

Участок выработки	Плоскость, в которой нормируется освещенность	Минимальная освещенность, лк
Призабойное пространство стволов при проходке	Горизонтальная на забое	10
	Вертикальная на боковой поверхности ствола на расстоянии не менее 5 м от забоя	5
Проходческие подвесные полки	Горизонтальная на полке	5



Окончание таблицы 10.

Участки выработки, где производятся перегрузка и погрузка угля	Горизонтальная на уровне лотка конвейера	10
Разминовки в пределах околоствольных дворов, приемные площадки уклонов и бремсбергов, электромашинные установки, передвижные подстанции и распределительные пункты вне специальных камер	Горизонтальная на почве	5
Откаточные штреки и квершлагги, разминовки на вспомогательных выработках, заезды, камеры ожидания, пункты посадки и выхода людей из поездов	Горизонтальная на почве	2
Станции посадки и схода людей в транспортные средства (кроме поездов)	Горизонтальная на почве	15
Уклоны и бремсберги для транспортировки грузов, выработки для перевозки людей механизированными транспортными средствами	Горизонтальная на почве	1
Приемные площадки стволов	Горизонтальная на почве Вертикальная на сигнальных табло	10 20
Камеры опрокидов и разгрузки вагонов (секционных поездов) в пределах околоствольных дворов	Горизонтальная на уровне 0,8 м от почвы	10
Лебедочные камеры уклонов и бремсбергов	Горизонтальная на уровне 0,5 м от почвы Вертикальная на приборах	7 30
Камеры центральных подземных подстанций и водоотливов	Горизонтальная на уровне 0,8 м от почвы	10
Локомотивные гаражи, зарядные камеры, склады горюче-смазочных материалов, заправочные пункты	Горизонтальная на уровне 0,8 м от почвы Горизонтальная на верстаках	10 20
Диспетчерские пункты	Горизонтальная на уровне 0,8 м от почвы Вертикальная на шкале приборов	10 30
Подземные здравпункты	Горизонтальная на уровне 0,8 м от почвы	75

Для защиты персонала от недостаточной освещенности, освещение следует проектировать равномерным с целью выравнивания яркости светового потока и создания необходимой освещенности во всем рабочем пространстве. Для общего освещения подземных горных выработок шахты должны использоваться разрядные лампы и/или лампы накаливания.

Освещению подлежат все рабочие места горной выработки или шахты, а также все проходы для людей, лестницы, приемные площадки, железнодорожные пути. Также предусматривается и аварийное освещение от независимого источника питания в зданиях управления агрегатами и установками.

#### **4.6. Анализ опасных факторов**

Опасные факторы – факторы, которые в результате своего длительного или кратковременного воздействия на человека приводят к травме или к летальному исходу. [13]

Для горной промышленности характерны следующие опасные факторы:

- 1) Поражение электрическим током;
- 2) Пожароопасность
- 3) Механические опасные факторы.

#### **4.7. Поражение электрическим током**

Вне зависимости от работы в горных выработках или на поверхности земли должны соблюдаться правила работы с электрическим током, электрооборудованием. Причины поражения электрическим током – прикосновение к токоведущим частям, к металлическому оборудованию обычно не находящемуся под напряжением, но оказавшихся в результате повреждения и др. Электрический ток оказывает на тело человека термическое, электрохимическое, механическое и биологическое воздействие.

Термическое воздействие обусловлено тем, что при протекании тока по телу человека (тело человека представляет собой определенное сопротивление

ние) в нем выделяется тепло. В результате термическое воздействие проявляется в виде ожогов участков тела, нагревания до высоких температур органов, которые находятся на пути протекания тока, что вызывает серьезные функциональные расстройства этих органов.

Электрохимическое воздействие характеризуется распадом органических жидкостей, в том числе крови, соответственно происходит значительное изменение их физико-химического состава.

Механическое действие проявляется в расслоение организма (мышц, стенок кровеносных сосудов), а также мгновенного образования пара от подогрева током жидкости и крови.

Биологическое воздействие проявляется путем раздражения и возбуждения живых тканей организма, а также из-за нарушения внутренних биологических процессов организма, тесно связанных с его жизненными функциями. [17]

В отношении опасности поражения людей электрическим током все помещения (в том числе и электро помещения) разделяются на следующие виды:

а) помещения с повышенной опасностью, характеризующиеся наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырости или проводящей пыли, токопроводящих полов (металлических, земляных, железобетонных, кирпичных и т. п.), высокой температуры, возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т. п. с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой;

б) особоопасные помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости; химически активной среды; одновременного наличия двух или более условий повышенной опасности (п. «а»);

в) помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную опасность и особую опасность (п. «а» и «б»)

В соответствии с ПУЭ внутренне пространство горных выработок, в которых расположено электрооборудование и ведутся работы можно классифицировать как относящиеся к категории повышенной и (или) особой опасности. Так как на многих шахтах влажность воздуха превышает 60% и порой достигает 100%, следовательно их можно отнести к влажным, сырым или особо сырым. Порой содержание пыли может превышать нормы ПДК даже при наличии средств пылеподавления, следовательно эти горные выработки относят к пыльным, причем зачастую как содержащие токопроводящую пыль. А температура воздуха в горных выработках может превышать +35°C, поэтому их можно отнести к категории жарких.

Существуют мероприятия, позволяющие обеспечить безопасность использования электроэнергии:

- подбор персонала, обслуживающего электроустановки (запрещение использования труда лиц моложе 18 лет, а также не обученных и не прошедших медицинское освидетельствование для работы данного вида);
- проведение специального обучения для выполнения работ с повышенной опасностью, аттестации, инструктажей по безопасности труда, разработка и издание инструкций по охране труда, применение средств пропаганды правил электробезопасности (плакатов, видеофильмов и пр.);
- назначение ответственных за электрохозяйство лиц;
- контроль за правильностью устройства электропроводок и установкой электрооборудования в соответствии с ПУЭ;
- защита от поражения электрическим током при переходе напряжения на металлические корпуса электроустановок; устройство защитного заземления; зануление электроустановок в сетях с глухо-заземленной нейтралью; применение защитного отключения;

- изоляция электроустановок и электродвигателей от корпусов рабочих машин; применение диэлектрических настилов и изолирующих площадок.

#### **4.8. Пожароопасность**

Пожарная безопасность регламентируется ГОСТ 12.1.004-91, ГОСТ 12.1.010-76, инструкциями по пожарной безопасности, строительными нормами и правилами. [18]

Пожары, которые возникают в горных выработках, называют рудничными. Также к ним относятся пожары возникшие в соседних зданиях, которые могут распространиться на выработки. Пожары в выработках классифицирует по причинам возникновения: эндогенные(самовозгорание), экзогенные (внешний источник). Экзогенные пожары чаще всего случаются ввиду широкого применения электрической энергии в горных выработках. Электрические дуги, искры, нагретые до высокой температуры токоведущие части – основные причины возникновения пожаров, связанных с применением электрической энергии.

Сам пожар представляет собой опасность для рабочего персонала. Помимо опасности распространения пожара в шахте возникает опасность удушья из-за быстрого распространения продуктов горения по шахтным выработкам. Особую опасность представляет пожар в шахтах, опасных по газу или пыли, так как может вызвать взрыв. Особенностью рудничных пожаров является трудность их тушения, так как добраться до очага пожара бывает крайне трудно. [19]

Предотвратить замыкания и недопустимые перегревы в электроустановках можно только путем правильного монтажа и эксплуатации электрооборудования, применением устройств непрерывного контроля изоляции и защитного отключения. Особое внимание уделяется местам контактных соединений. Использование негорючих материалов должно сочетаться с применением

защиты, которая предупреждает возникновение токов, способных воспламенить электрооборудование и горючие материалы. Применение шахтных гибких кабелей с негорючей резиной –эффективная мера по предупреждению пожаров.

Для предотвращения эндогенных пожаров, необходимо следить за состоянием угольных пластов, предотвращая их от самовозгорания, постоянно проветривая их, с тем чтобы снизить концентрацию метана из-за которого и происходят пожары, а также отключать электрооборудование в местах с повышенной концентрацией метана.

В выработках и шахтах должна быть спроектирована противопожарная защита, позволяющая предотвратить возникновение пожара, а в случае его возникновения в кратчайшие сроки локализовать пожар и потушить. Также применение средств индивидуальной защиты, например, средства по защите органов дыхания индивидуального назначения, которые можно классифицировать на фильтрующие и изолирующие.

#### **4.9. Защита окружающей среды**

Вопрос экологии в современной промышленности очень важен. Горная промышленность подразумевает собой добычу полезных ископаемых, вследствие чего происходит их истощение, а также загрязнение окружающей среды.

В результате выделяется целый ряд негативных явлений, которые оказывает данная отрасль, например, отчуждение территорий, загрязнение водных ресурсов, почвы и др.

Важно сказать об отходах горной промышленности, так как используемое сырье извлекается из природы и не приспособлено для прямого использования. Выделяют твердые отходы, жидкие отходы (сточные воды).

Твердые отходы – основная группа отходов. Более половины твердых отходов, могут самовоспламеняться, поэтому оказываются на открытых отвалах и шламоотстойниках предприятия. Уровень использования отходов со-

ставляет 15-18% годового ресурса, причем 40% отходов идет на закладку выработанного пространства. Большая часть углеобогащенных отходов идет в строительную отрасль и позволяет значительно экономить.

Жидкие отходы включают шахтные и карьерные воды, формирующиеся за счет грунтовых подземных вод. Объем сбрасываемых вод особенно значителен в угольной промышленности. В процессе добычи полезных ископаемых подземные воды вбирают в себя взвешенные вещества, минерализируются и растворяют в себе другие компоненты. Взвешенные вещества выносятся на поверхность и попадают в водоемы, что ведет к деградации рыбных ресурсов. Наиболее эффективным способом ведения борьбы со взвешенными веществами являются отстойники. [20]

Для избегания неблагоприятных последствий горнодобывающей промышленности необходимо использовать ряд мероприятий:

- рационально использовать недры при добычи полезных ископаемых;
- внедрять малоотходные и безотходные производства;
- контролировать очищение сточных вод;
- контролировать выбросы вредных веществ;
- использовать и усовершенствовать газоочищающие и пылеулавливающие установки
- охранять минеральные ресурсы недр;
- применять горнотехнические и специальные охранные мероприятия по ликвидации последствий горных разработок путем рекультивации (восстановления) нарушенных земель.
- и другие методы.

Если говорить непосредственно о электровозе и тяговом асинхронном двигателе, установленном на нем, то необходимо отметить, что электротранспорт является экологически чистым, то есть сам электровоз не выбрасывает

какие-то вредные выхлопы. Также используемый привод не способствует загрязнению атмосферы, а использование преобразователя частоты позволяет значительно сократить потребление электроэнергии, при этом также уменьшить количество потребляемой реактивной мощности. При этом преобразователь частоты также не выбрасывает в атмосферу вредные вещества. Как итог можно отметить, что разработка электроприводов включающих ПЧ экологически выгодна. [21]

#### **4.10. Предотвращение чрезвычайных ситуаций (ЧС)**

Самыми распространёнными ЧС в горных выработках являются пожар и электропоражение. [20]

##### **4.10.1. Пожар – как источник ЧС**

Как отмечалось в пункте «Пожароопасность» пожары в горных выработках делятся на экзогенные и эндогенные.

Экзогенные пожары происходят, как правило при самовозгорании угля.

Эндогенные пожары происходят из-за воздействия внешнего источника. Экзогенные пожары чаще всего случаются ввиду широкого применения электрической энергии в горных выработках. Электрические дуги, искры, нагретые до высокой температуры токоведущие части – основные причины возникновения пожаров, связанных с применением электрической энергии.

Из-за пожара в шахте возникает опасность удушья, так как быстро распространяются продукты горения по шахтным выработкам. Особую опасность представляет пожар в шахтах, опасных по газу или пыли, так как может вызвать взрыв.

При обнаружении признаков пожара должен вводиться в действие План ликвидации аварий. В соответствии с планом ликвидации аварии должен быть установлен режим вентиляции шахты.



Технический руководитель шахты, а в его отсутствие горный диспетчер совместно с командиром аварийно-спасательной части, прибывшим по вызову на аварию, разрабатывают оперативный план ликвидации аварии.

В случаях, когда пожар не удастся ликвидировать в соответствии с оперативным планом и он принимает затяжной характер, технический руководитель шахты совместно с аварийно-спасательной частью и экспертной организацией разрабатывает специальный проект ликвидации и тушения пожара. С момента возникновения пожара и до окончания его тушения должны осуществляться проверка состава шахтной атмосферы и контроль за температурой в районе действующих очагов пожара и в местах ведения горноспасательных работ.

Средства пожаротушения располагаются вблизи рабочих мест со стороны поступающей струи, а в камерах без обслуживающего персонала снаружи камеры и должны храниться в специальных ящиках (емкостях) с соответствующими надписями «Огнетушители», «Песок», «Пыль для тушения пожара» и др. Огнетушители, ящики с песком, ручки пожарного инструмента должны быть окрашены в красный сигнальный цвет или иметь красную полосу.

Участки с повышенной эндогенной пожарной опасностью подготавливают к подавлению очагов самонагревания в выработанном пространстве инертной пеной. Для чего оборудуют передвижные установки для приготовления пены, по участковым выработкам прокладывается трубопровод диаметром не менее 100 мм, а в зонах с повышенной пожарной опасностью (геологические нарушения, целики угля, места обрушения кровли и др.) закладываются в выработанное пространство отрезки труб диаметром не менее 70 мм и длиной не менее 4 м с перфорированным концевым участком.

Существуют профилактические методы предупреждения пожара в горных выработках и шахтах. Так запрещается хранить и применять легковоспламеняющиеся вещества. Различные масла и смазочные материалы необходимо хранить в специальных противопожарных камерах. В случае утечек горючих

веществ немедленно нужно принять меры для их уборки, а все отработанные масла необходимо передать за пределы выработки. [20]

В действующих горных выработках должен быть проложен пожарно-оросительный трубопровод с автоматическим контролем давления воды в точках, определенных главным механиком шахты по согласованию с аварийно-спасательными частями. Пожарные трубопроводы должны быть проложены так, чтобы обеспечивалась подача воды для тушения пожара в любой точке горных выработок шахты. Система вентиляции должна обеспечивать проветривание горных выработок, чтобы избегать самовозгорания угля.

#### **4.10.2. Электропоражение – как источник ЧС**

Система электробезопасности на горнодобывающих предприятиях обеспечивает защиту от поражения электрическим током работников в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление.

Заземлению подлежат металлические части электротехнических устройств, нормально не находящихся под напряжением, но которые могут

оказаться под напряжением в случае повреждения изоляции, а также трубопроводы, сигнальные тросы и др., расположенные в выработках, где имеются электрические установки и проводки. [20]

Действенными профилактическими методами также являются применение пониженного напряжения, компенсация емкостных токов утечки на землю, электрическое разделение сетей, а также обеспечение персонала средствами индивидуальной защиты.

Также необходимо к работе с электроустановками допускаются люди с соответствующим образованием, прошедшими медицинский осмотр и инструктажи.

В случае если рабочий оказался поражен электрическим током, его необходимо освободить от источника поражения и доставить в медицинский пункт.

## 5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела работы является экономическое обоснование проектирования вольтодобавочного устройства для электровозов.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать структуру проектной работы;
- определить трудоемкость выполнения проектной работы;
- составить смету затрат.

Область возможного применения: подземные электровозы.

### 5.1. Планирование проектных работ

В данном разделе необходимо определить основные виды работ, назначить участников для каждой работы, рассчитать время, требуемое для выполнения каждой работы и в конце построить график проведения проектирования.

#### 5.1.1. Структура работ в рамках проектирования

В таблице 11 представлены основные виды работ с указанием содержания, а также распределены исполнители.

Таблица 11. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления проектирования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Описание объекта проектирования	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка силовой схемы вольтодобавочного устройства	Руководитель
	6	Расчет параметров элементов вольтодобавочного устройства	Инженер

Окончание таблицы 11.

Теоретические и экспериментальные исследования	7	Выбор элементов вольтодобавочного устройства	Инженер
Разработка технической документации и проектированию	8	Составление пояснительной записки	Инженер

## 5.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников проектирования.

Трудоемкость выполнения проектирования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ож}$  используется следующая формула:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min i} + 2 \cdot t_{\max i}}{5};$$

где  $t_{ож i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для

обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости проектирования составляет около 65 %.

$$T_p = \frac{t_{ожі}}{Ч_i};$$

где  $T_p$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

В таблице 2 приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работы.

### 5.3. Разработка графика проведения проектирования

Для построения графика Ганта, представленного в таблице 3, использованы не рабочие дни, а календарные. Перевод из рабочих дней в календарные осуществляем по формуле:

$$T_{ки} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где  $T_{ки}$  – продолжительность работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности учитывает количество выходных и праздничных дней и рассчитывается по формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}};$$

где  $T_{кал}$  – количество календарных дней в году ( $T_{кал} = 365$ );

$T_{вых}$  – количество выходных дней в году ( $T_{кал} = 52$ );

$T_{пр}$  – количество праздничных дней в году ( $T_{пр} = 14$ ).

Значения для каждой работы представлены в таблице 12.

Пример расчета для инженера (подбор и изучение материалов по теме):

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ чел-дней};$$

$$T_p = \frac{2}{1} = 2 \text{ дня};$$

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22;$$

$$T_k = 2 \cdot 1,22 = 2,44 \approx 3 \text{ дня}.$$

Таблица 12. Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длитель- ность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длитель- ность работ в календар- ных днях $T_{ki}$		
	$t_{min},$ чел-дни		$t_{max},$ чел-дни		$t_{ожi},$ чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
Составление и утвержде- ние технического задания	1		2		2		2		3	
Подбор и изучение матери- алов по теме		4		8		6		6		8
Описание объекта проекти- рования		4		6		5		5		6
Календарное планирование работ по теме	1		2		2		2		3	

Окончание таблицы 12.

Разработка схемы вольто-добавочного устройства	8		10		9		9		11	
Расчет параметров элементов вольтодобавочного устройства		10		15		12		12		15
Выбор элементов вольтодобавочного устройства		4		6		5		5		6
Составление пояснительной записки		3		4		4		4		5

По данным таблицы 12 построена диаграмма Ганта, представленная в таблице 13, по ней определено, что длительность работ в календарных днях руководителя проекта равняется 17 дней, а инженера 40 дней.



Таблица 13 – Диаграмма Ганта

		09-11 февраль			12-19 февраль								20-25 февраль						26-28 февраль			1-11 март			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Составление и утверждение технического задания	Руководитель																								
Подбор и изучение материалов по теме	Инженер																								
Описание объекта проектирования	Инженер																								
Календарное планирование работ по теме	Руководитель																								
Разработка схемы вольтодобавочного устройства	Руководитель																								
Расчет параметров элементов вольтодобавочного устройства	Инженер																								
Выбор элементов вольтодобавочного устройства	Инженер																								
Составление пояснительной записки	Инженер																								

Окончание таблицы 13 – Диаграмма Ганта

		1-11 март								12-26 март																27-01март/ апрель	
		25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48		
Составление и утверждение технического задания	Руководитель																										
Подбор и изучение материалов по теме	Инженер																										
Описание объекта проектирования	Инженер																										
Календарное планирование работ по теме	Руководитель																										
Разработка схемы вольтодобавочного устройства	Руководитель																										
Расчет параметров элементов вольтодобавочного устройства	Инженер																										
Выбор элементов вольтодобавочного устройства	Инженер																										
Составление пояснительной записки	Инженер																										

### Окончание таблицы 13 – Диаграмма Ганта

		27-01март/апрель				02-06 апрель				
		49	50	51	52	53	54	55	56	57
Составление и утверждение технического задания	Руководитель									
Подбор и изучение материалов по теме	Инженер									
Описание объекта проектирования	Инженер									
Календарное планирование работ по теме	Руководитель									
Разработка схемы вольтодобавочного устройства	Руководитель									
Расчет параметров элементов вольтодобавочного устройства	Инженер									
Выбор элементов вольтодобавочного устройства	Инженер									
Составление пояснительной записки	Инженер									

## 5.4. Смета затрат

Смета затрат складывается из следующих статей расходов:

- материальные расходы;
- амортизация;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

### 5.4.1. Материальные расходы

Стоимость материалов, используемых при разработке данного проекта, приведена в таблице 14.

Таблица 14. Материальные затраты на выполнение научного исследования

Наименование	Затраты на материалы, ( $Z_m$ ), руб.
Канцелярские товары	500

Таким образом материальные затраты на выполнение данного научно-технического исследования составляют 500 рублей.

### 5.4.2. Амортизация

Расчет амортизационных отчислений для полного восстановления основных фондов производится по нормам амортизации, утвержденным в порядке, установленном действующим законодательством, и определяется в зависимости от стоимости оборудования. Проектирование требует наличие оборудования:

Компьютер - 40000 рублей.

$$I_{ам} = \frac{T_{ис}}{T_{г}} \cdot \frac{1}{T_{сл}} \cdot C_{обор}$$

где  $T_{ис}$  - время использования оборудования – 60 дней;

$T_{г}$  - количество использования в год – 365 дней;

$C_{\text{обор.}}$  - стоимость оборудования – 40000 рублей;

$T_{\text{сл.}}$  - срок службы оборудования – 3 года.

Пример расчета:

$$I_{\text{ам}} = \frac{60}{365} \cdot \frac{1}{3} \cdot 40000 = 2192 \text{ рублей.}$$

### 5.4.3. Основная заработная плата

Расчет месячного должностного оклада работника производится по формуле :

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}$$

где  $Z_{\text{мс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (30% от  $Z_{\text{мс}}$ );

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в научном исследовательском институте за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от  $Z_{\text{мс}}$ );

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{он}} = \frac{Z_{\text{м}}}{26}$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{он}} \cdot T_{\text{р}}$$

где  $T_{\text{р}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, рабочих дней;

В состав заработной платы входит основная заработная плата всех участников проектирования, а также дополнительная заработная плата, которая составляет 12 – 20 % от основной заработной платы:

$$Z_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$$

Пример расчета для руководителя:

$$З_{м} = 25000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 48750 \text{ рублей,}$$

$$З_{дн} = \frac{48750}{26} = 1875 \text{ рублей}$$

$$З_{осн} = 1875 \cdot 20 = 37500 \text{ рублей}$$

$$З_{зн} = 37000 + 5625 = 42625 \text{ рублей}$$

Заработная плата представлена в таблице 15.

Таблица 15. Расчёт заработной платы

Исполнители	$З_{мс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$З_{м}$ , руб.	$З_{дн}$ , руб.	$T_{р}$ , раб. дн.	$З_{доп}$ , руб.	$З_{осн}$ , руб.
Руководитель	25000	0,3	0,2	1,3	48750	1875	20	5625	37500
Инженер	20000	0,3	0,2	1,3	39000	1500	40	9000	60000
<b>Итого</b>									<b>97500</b>

#### 5.4.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата – заработная плата, начисленная рабочим и служащим не за фактически выполненные работы или проработанное время, а в соответствии с действующим законодательством, в том числе оплата очередных отпусков рабочих и служащих, льготных часов подростков, времени связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей.

Дополнительная заработная плата рассчитывается с помощью коэффициента  $k_{доп}$  по формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15)

Расчет:

$$З_{доп} = 0,15 \cdot 37500 = 5625 \text{ рублей – для руководителя,}$$

$$З_{доп} = 0,15 \cdot 60000 = 9000 \text{ рублей} - \text{для инженера.}$$

#### 5.4.5. Отчисления во внебюджетные фонды

Данная статья расходов включает в себя обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам во внебюджетные фонды. К внебюджетным фондам относятся: фонд социального страхования (ФСС), пенсионный фонд (ПФ), федеральный фонд обязательного медицинского страхования (ФФОМС).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы :

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп})$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Расчет:

$$З_{внеб} = 0,3 \cdot (37500 + 5625) = 12938 \text{ рублей} - \text{руководитель}$$

$$З_{внеб} = 0,3 \cdot (60000 + 9000) = 20700 \text{ рублей} - \text{инженер}$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2017 г. установлен размер страховых взносов равный 30%.

Таблица 16. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	37500	5625
Инженер	60000	9000
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
<b>Итого</b>		
Руководитель	<b>12938</b>	
Инженер	<b>20700</b>	

#### 5.4.6. Накладные расходы

Накладные расходы – это затраты, которые не попали в предыдущие статьи расходов. К ним относят: оплата электроэнергии, услуги связи, печать и ксерокопирование материалов и т.д.

Величина накладных расходов определяется с учетом коэффициента  $k_{нр}$  по формуле:

$$З_{накл} = (З_{м} + З_{осн} + З_{доп} + З_{внеб} + А) \cdot k_{нр}$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы (16%).

Расчет:

$$З_{накл} = (500 + 97500 + 14625 + 33638 + 2192) \cdot 0,16 = 23753 \text{ рублей.}$$

#### 5.5. Формирование бюджета затрат проектирования

После того как рассчитаны все статьи затрат проектирования, можно сформировать окончательный бюджет затрат проектирования.

Структура бюджета затрат проектирования представлена в таблице 17.

Таблица 17. Бюджет затрат проектирования

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1. Материальные расходы	500	0,3
2. Амортизация	2192	1,27
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	97500	56,62
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	14625	8,49
5. Отчисления во внебюджетные фонды	33638	19,53
6. Накладные расходы	23753	13,79
7. Бюджет затрат проектирования	172208	100



Цель раздела достигнута, поставленные задачи выполнены. Разработана структура проектной работы, в результате были определены лица, осуществляющие проектирование: руководитель и инженер. Определена трудоемкость выполнения проектной работы, в результате длительность работ в календарных днях руководителя проекта равняется 17 дней, а инженера 40 дней. Составлена смета проекта, которая составила 172208 рубля, складывающаяся из расходов на заработную плату работников (112125 руб.), отчисления во внебюджетные фонды (33638 руб.), материальные расходы (500 руб.), амортизацию (2192 руб.) и накладные расходы (23753 руб.).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью работы являлась разработка вольтодобавочного устройства рассчитанного на напряжение 175 В для аккумуляторного электровоза. Разработана схема вольтодобавочного устройства, а также рассчитаны и выбраны по каталогу элементы устройства. Также в программе Mathcad были рассчитаны параметры асинхронного тягового двигателя, используемого на электровозе и построены его механические характеристики при включенном вольтодобавочном устройстве и выключенном. Использование вольтодобавочного устройства на аккумуляторных электровозах позволяет уменьшить его массогабаритные показатели. При использовании обычных аккумуляторов, дабы набрать напряжение необходимое для работы тягового асинхронного двигателя (220 В), нужно использовать большое число аккумуляторов общим весом 12960 кг, использование вольтодобавочного устройства позволяет набрать необходимые 220 В, весом аккумуляторов и вольтодобавочного устройства всего в 7000 кг. Также использование вольтодобавочного устройства позволяет получить большой пусковой момент, при этом после трогания электровоза, устройство шунтируется высокочастотным ключом, дабы избежать нагрева его элементов в случае рекуперативного торможения электровоза, но момента электровоза достаточно, чтобы продолжать движение.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Локомотивный транспорт [электронный ресурс] Режим доступа: [tst.nmu.org.ua/ua/Lokom\\_tran.doc](http://tst.nmu.org.ua/ua/Lokom_tran.doc) (дата обращения: 20.05.2018).
2. Сидоров Н.И., Сидорова Н.Н. Как устроен и работает электровоз. – 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1988 – 223с
3. Д.В. Волков, Ю.П. Сташинов. К вопросу о применении асинхронного частотно-регулируемого привода на рудничном электровозе, 2005.
4. Электрические машины и преобразователи подвижного состава; Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / А.В. Грищенко, В.В. Стрекопытов. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 320с.
5. Д.В. Волков. Реализация рациональной тяговой характеристики рудничного электровоза средствами асинхронного частотно-регулируемого электропривода, 2009.
6. Электрические машины и преобразователи подвижного состава; Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / А.В. Грищенко, В.В. Стрекопытов. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 320с.
7. Ferrit Global Mining Solutions [электронный ресурс] : - Czech Republic, – Режим доступа: <http://ferrit.cz/ru/produkty/naposvennyj-transport>, свободный. – Ferrit Rail (Дата обращения: 20.05.2018).
8. Великолукский завод щелочных аккумуляторов. Режим доступа: [http://www.akbluki.ru/content/catalog/VZCSHA\\_2011\\_300311\\_small.pdf](http://www.akbluki.ru/content/catalog/VZCSHA_2011_300311_small.pdf). (Дата обращения: 26.05.2018).
9. Научно - производственное предприятие Гаммамет, 1998-2018. Екатеринбург. Электронный каталог магнитопроводов. Режим доступа: <http://gammamet.ru/index.php/ru/>. (Дата обращения: 08.03.2018).
10. Mouser Electronics, 1964-2018 Менсфилд. Электронный каталог электронных компонентов. Режим доступа: <http://eu.mouser.com/> . (Дата обращения: 20.05.2018).

11. Оценочные исследования тягового асинхронного электродвигателя с пониженным напряжением питания для рудничного электровоза [Электронный ресурс] / О. В. Арсентьев [и др.] URL: [http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/44740/1/bulletin\\_tpu-2017-v328-i11-11.pdf](http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/44740/1/bulletin_tpu-2017-v328-i11-11.pdf)
12. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о асинхронных двигателях URL: <http://www.sibelektromotor.ru/news/pdf/SibMotor-instr-Pch.pdf>
13. ГОСТ Р 57717-2017. Горное дело. Безопасность в угольных шахтах. Термины и определения.
14. ГОСТ Р 55175-2012. Атмосфера рудничная. Методы контроля запыленности
15. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы
16. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки
17. ГОСТ Р 55733-2013 Освещение подземных горных выработок. Основные требования и методы измерений
18. Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204
19. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1)
20. Правила безопасности в угольных шахтах ПБ 05-618-03
21. Технико-экономическое обоснование внедрения автоматизированных систем частотно-регулируемого электропривода на объектах. [Электронный ресурс] URL: <http://elektrostil.oml.ru/d/323483/d/teo.pdf>
22. Использование отходов горного производства. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-othodov-gornogo-proizvodstva>